Michaël Bégin

LE MONDE EN 2040-2050

La fin de l'abondance

Le monde en 2040-2050

La fin de l’abondance
5 novembre 2025
Michaël Bégin

À propos de l’auteur

Écrivain autodidacte et observateur attentif des transformations du monde, **Michaël Bégin** explore depuis plusieurs années les liens entre la science, la technologie, l’environnement et la condition humaine. Passionné par les données climatiques, les modèles énergétiques et les impacts socioéconomiques de la transition écologique, il s’appuie sur des sources scientifiques rigoureuses, comme les rapports du GIEC et les analyses de Rystad Energy, pour nourrir une réflexion lucide sur l’avenir de notre planète.

Dans *Le monde en 2040-2050 : la fin de l’abondance*, il trace le portrait d’une humanité confrontée à l’épuisement des ressources, à la crise climatique et à la redéfinition de nos modes de vie. Son approche mêle analyse, anticipation et engagement, cherchant moins à prédire qu’à éveiller la conscience collective face aux bouleversements en cours.

Au-delà de l’écriture, Michaël Bégin consacre une partie de son temps à la recherche indépendante, à la création de graphiques climatiques et à la diffusion de connaissances sur les réseaux sociaux. Il croit profondément que la compréhension du monde passe par le partage du savoir et la sensibilisation citoyenne.

Pour en apprendre davantage, consulter ses travaux ou entrer en contact :

Courriel : psydrmic@gmail.com

Site internet : Unesante.com

Table des matières

Le monde en 2040-2050.....2
À propos de l'auteur.....3
Préface.....11
Dédicace.....15
Introduction.....17
Une humanité à court de tout.....19
Le tournant énergétique, écologique et technologique du XXIe siècle.....25
Méthodologie et sources (Rystad Energy, FAO, ONU, IEA, IPCC, WWF…).....33
Partie I – La fin des ressources fossiles.....39
1. L'épuisement du pétrole : la dernière goutte.....41
1.1 Les données de Rystad Energy : 14 ans de réserves prouvées.....51
1.2 Le pic pétrolier mondial et ses signes avant-coureurs 73
1.3 L'effondrement du modèle pétrolier : transport, agriculture, industrie.....79
1.4 Le pétrole non conventionnel : un mirage coûteux. .85
1.5 Les guerres de l'énergie et la nouvelle géopolitique du baril.....91
2. Le gaz et le charbon : un répit illusoire.....99
2.1 Le mythe de l'abondance gazière.....101
2.2 L'instabilité des marchés énergétiques mondiaux. .107
2.3 Le retour du charbon et la crise climatique accélérée 115
3. Les nouvelles guerres énergétiques et technologiques..123
3.1 Chine, Russie, Iran, Corée : puissances en recomposition.....125
3.2 Conflits hybrides et contrôle des ressources.....131
3.3 L'énergie comme arme géopolitique.....139

Partie II – L'eau, le sable et l'hydroélectricité : les tensions hydriques du futur.....147
4. L'or bleu en voie d'épuisement.....149
4.1 Aquifères en déclin et mégasécheresses.....157
4.2 L'accès à l'eau potable : une fracture mondiale.....165
4.3 Les migrations climatiques et les guerres de l'eau. 173
4.4 Dessalement, recyclage, sobriété : solutions et limites 181
5. Le manque de sable : un désastre invisible.....189
5.1 La ressource la plus consommée après l'eau.....197
5.2 Les mafias du sable et la destruction des littoraux. 205
5.3 Le béton du futur : matériaux alternatifs et innovation durable.....211
6. La crise de l'hydroélectricité.....217
6.1 Sécheresses, barrages et perte de puissance hydraulique.....219
6.2 Le paradoxe des énergies renouvelables.....225
6.3 L'avenir incertain des grands fleuves.....233
Partie III – Les matières premières et la fin du plastique.....241
7. Le plastique : symbole d'un monde à bout de souffle...243
7.1 Le lien entre pétrole et matière plastique.....251
7.2 Le recyclage mondial en échec.....259
7.3 Les plastiques biodégradables : une illusion verte ? 263
8. Métaux critiques et terres rares : l'autre face de la transition verte.....269
8.1 Lithium, cobalt, nickel : la nouvelle dépendance mondiale.....275
8.2 Les guerres minières du XXIe siècle.....281
8.3 Recyclage, innovation et sobriété : vers quel équilibre ?.....289
Partie IV – La planète vivante en crise.....295

9. Une Terre plus chaude de 2,5 °C.....297
9.1 Les projections du GIEC et la réalité observée.....305
9.2 Institute and Faculty of Actuaries (Planetary Solvency – finding our balance with nature).....311
9.3 Impacts sur les écosystèmes et les sociétés humaines 319
9.4 Canicules, incendies, déserts climatiques : les zones les plus vulnérables.....327
9.5 L'adaptation impossible : agriculture, santé et migrations.....335
10. La disparition des poissons.....341
10.1 Océans vides : surpêche et effondrement des stocks 349
10.2 Aquaculture, pollution et dérèglements marins.…357
10.3 Les conséquences alimentaires et économiques...365
11. Le déclin de la faune terrestre.....375
11.1 L'extinction silencieuse des espèces sauvages.….383
11.2 Agriculture intensive et effondrement de la biodiversité.....389
11.3 Les écosystèmes artificiels du futur.....395
12. L'Arctique sans glace.....401
12.1 La fonte estivale : un basculement irréversible.…409
12.2 Nouvelles routes maritimes et convoitises géopolitiques.....417
12.3 Le méthane arctique : bombe climatique en formation.....423
Partie V – Sociétés, économie, surveillance et avenir humain 429
13. L'économie mondiale en contraction.....431
13.1 La fin de la croissance matérielle.....439
13.2 L'effondrement des chaînes de valeur globales....445
13.3 Effondrement ou la raréfaction des ressources?…451

6 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l'abondance

14. Les sociétés sous surveillance.....457
14.1 Le monde en ligne : traçage et espionnage numérique.....463
14.2 Objets connectés : microphones et caméras du quotidien et robots.....469
14.3 L'intelligence artificielle au service du contrôle social et de la reconnaissance faciale.....477
14.4 Robots, IA et disparition de la vie privée.....483
15. Les sociétés face à la rareté.....491
15.1 Nouveaux rapports de force et inégalités.....497
15.2 Autarcie, localisme et décroissance.....503
15.3 Technologies et résilience dans un monde en pénurie 509
16. L'avenir possible de l'humanité.....515
16.1 Trois scénarios : effondrement en 2040-2050 Rystad energy (14 ans), la fin estivale de l'Arctique, la pénurie de toute.....521
16.2 Ressources limitées et fin du progrès illimité.....527
16.3 Espoir, résilience et solidarité planétaire.....533
17. Les territoires perdus : villes submergées et zones inhabitables.....539
17.1 La montée du niveau des mers.....547
Un phénomène lent, irréversible et global.....547
17.2 Les villes fantômes du XXIe siècle.....555
17.3 L'exode climatique mondial.....563
18. La santé humaine à l'ère post-naturelle.....569
18.1 Pandémies et résistances antimicrobiennes.....575
18.2 Les biotechnologies : promesse ou dérive ?.....581
18.3 Vie prolongée, vieillissement global et inégalités sanitaires.....587
18.4 L'alimentation artificielle et la fin de l'agriculture traditionnelle.....593

19. Le monde dirigé par les algorithmes.....599
19.1 L’automatisation du travail et la disparition des emplois humains.....607
19.2 L’IA politique et la gouvernance automatisée.....615
19.3 Fusion homme-machine : implants, métavers et transhumanisme.....623
19.4 Les dérives éthiques et la guerre des données.....629
20. Les nouvelles guerres en 2040-2050.....635
20.1 Cyberattaques, désinformation et chaos numérique 641
20.2 Militarisation de l’espace et drones autonomes....647
20.3 Guerres pour l’eau, la nourriture et les métaux….653
20.4 Vers une multipolarité instable.....659
21. L’humain déconnecté de l’humain.....665
21.1 Isolement numérique et crise de la communication 671
21.2 Éducation automatisée et perte de la pensée critique 675
21.3 Les nouvelles croyances du monde post-abondance 681
21.4 Le retour des communautarismes et des survivalismes.....687
22. Gouverner le monde de demain.....693
22.1 Monnaies numériques et fin du cash.....699
22.2 Les États face aux géants technologiques.....703
22.3 Vers une gouvernance mondiale des ressources…709
22.4 Utopies, dystopies et réalités de 2050.....715
Partie VI – Annexes et références.....719
A. Données clés des institutions internationales (IEA, ONU, FAO, IPCC, Rystad Energy, WWF).....721
A. Données clés des institutions internationales.....721

B. Glossaire des termes énergétiques, climatiques et technologiques.....727
C. Index thématique.....733
Références.....737
Biographie de l'auteur.....811
Remerciements.....823

10 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Préface

> « Nous ne manquons pas d’énergie : nous manquons de temps pour apprendre à vivre avec moins. »
> — *Jean-Marc Jancovici*

> « L’humanité est l’espèce qui détruit son propre berceau tout en cherchant à comprendre les étoiles. »
> — *Hubert Reeves*

L’histoire humaine est celle d’un équilibre fragile entre la découverte et l’excès. Pendant deux siècles, nous avons cru que la croissance pouvait être infinie dans un monde fini. Nous avons cru que la science, la technologie et les marchés suffiraient à repousser les limites de la nature. Mais la réalité, implacable, se rappelle désormais à nous.

L’énergie, cette force invisible qui a bâti nos sociétés modernes, s’épuise. Le pétrole, le gaz et le charbon, qui ont façonné nos routes, nos villes et nos modes de vie, s’approchent de leur crépuscule.

La promesse d’un progrès éternel s’effrite sous le poids de la dette écologique et de la rareté des ressources. Comme le souligne Jean-Marc Jancovici, notre civilisation vit encore dans l’illusion énergétique : celle d’un monde qui tourne grâce à la magie du kilowatt, sans en mesurer la dépendance absolue.

Hubert Reeves, lui, nous rappelait avec douceur et gravité que la Terre n’a pas besoin de nous, mais que nous avons un besoin

vital d’elle. L’effondrement des écosystèmes, la disparition silencieuse des espèces et la montée des températures ne sont pas des abstractions lointaines : ce sont des réalités vécues, observées, mesurées.
Les glaciers fondent, les forêts brûlent, les mers montent. Et pourtant, nous continuons à agir comme si de rien n’était, anesthésiés par le confort et la distraction numérique.

Ce livre, *Le monde en 2040-2050 : la fin de l’abondance*, n’est pas un récit de fin du monde, mais un constat lucide sur la fin d’un modèle.
Il s’appuie sur les données les plus récentes de grandes institutions — le GIEC, la FAO, l’ONU, la WWF, Rystad Energy — pour décrire, sans complaisance, ce vers quoi nous allons : la raréfaction des ressources, la montée des tensions géopolitiques, la surveillance numérique, la transformation du travail, la mutation du vivant.

Mais il est aussi une invitation. Une invitation à réfléchir autrement.
À comprendre que l’abondance n’a jamais été un droit, mais une parenthèse.
À réapprendre la sobriété, non pas comme une punition, mais comme une sagesse retrouvée.
À imaginer un monde où la technologie ne domine pas l’humain, mais le sert ; où la solidarité reprend le pas sur la compétition.

J’écris ces pages non pour nourrir la peur, mais pour réveiller la conscience.

12 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Nous ne pouvons plus continuer à avancer les yeux fermés dans une époque qui change plus vite que nous.
L'horizon 2040-2050 n'est pas un futur lointain : il est celui de notre génération, de nos enfants, de nos choix d'aujourd'hui.

Il ne s'agit plus seulement de sauver la planète — elle saura se régénérer sans nous —, mais de sauver **notre place** dans cette planète vivante.

14 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Dédicace

Je dédie ce livre à l’Armée canadienne, à la police et à tous les enquêteurs qui, chaque jour, scrutent avec rigueur et détermination les informations les plus cruciales pour la sécurité et la protection de nos sociétés. Que ce travail serve, à sa manière, à éclairer vos missions et à renforcer la vigilance nécessaire dans un monde en constante mutation.

16 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Introduction

18 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Une humanité à court de tout

Depuis la révolution industrielle, l'humanité a bâti son confort, sa croissance et ses espoirs sur l'abondance apparente des ressources naturelles.

Le charbon, le pétrole, le gaz et les minerais ont façonné notre monde moderne : transports, agriculture intensive, plastiques, électricité, médicaments, et même les technologies dites « vertes » reposent sur cette base extractive.

Mais au tournant de 2040, cette ère de l'abondance touche à sa fin.

Les projections les plus récentes indiquent que les réserves exploitables de pétrole conventionnel sont en voie d'épuisement rapide.

Selon le rapport 2024 de **Rystad Energy**, il ne resterait qu'environ **14 années de production économiquement viable** au rythme actuel de consommation mondiale[1].

Autrement dit, d'ici 2038-2040, une grande partie des champs pétroliers aujourd'hui rentables ne le seront plus, faute de rendement énergétique suffisant et de coûts d'extraction soutenables.

Cette perspective n'est pas seulement une crise énergétique : c'est une crise systémique. Car sans hydrocarbures, la chaîne industrielle mondiale — du plastique aux engrais, du transport

maritime à la production alimentaire — s'effondre partiellement.

Les conséquences ne se limitent pas au pétrole. Le gaz naturel, longtemps perçu comme une énergie de transition, montre également des signes de raréfaction régionale.

En Europe, les réserves conventionnelles diminuent, tandis que la dépendance aux importations de GNL augmente. Le charbon, quant à lui, reste disponible, mais son utilisation contredit les objectifs climatiques.

En somme, aucune ressource fossile ne peut durablement soutenir le modèle énergétique actuel.

Au-delà des combustibles, l'humanité entre aussi dans une ère de rareté **minérale** et **hydrique**. Les métaux critiques — lithium, cobalt, nickel, cuivre, terres rares — indispensables à la transition énergétique, atteignent déjà des niveaux d'exploitation préoccupants.

Le **World Bank Group** et l'**International Energy Agency (IEA)** soulignent que la demande mondiale de lithium pourrait être multipliée par **6 à 7 d'ici 2040**, tandis que la production ne suivra pas sans dommages écologiques et sociaux[2].

Ces minerais se concentrent souvent dans des régions politiquement instables, ce qui exacerbe les tensions géopolitiques et la dépendance des pays industrialisés.

Sur le plan environnemental, le **Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)**

avertit que le réchauffement global atteindra probablement **1,5 °C avant 2030** et pourrait dépasser **2 °C avant 2050**[3]. Cette accélération du dérèglement climatique intensifie les pénuries : sécheresses prolongées, désertification, inondations et effondrement des écosystèmes.

Selon la **FAO**, plus de **30 % des terres agricoles** sont déjà dégradées, et **près d'un milliard de personnes** pourraient souffrir d'insécurité alimentaire chronique d'ici 2050[4].

L'eau douce, autre pilier de la civilisation, devient un enjeu vital. Le **World Resources Institute (WRI)** estime que **25 % de la population mondiale** vivra dans des zones de stress hydrique extrême dès 2040[5].

L’agriculture, qui consomme plus de 70 % de cette ressource, sera la première victime, entraînant une baisse de rendement et une flambée des prix alimentaires.

Les Nations unies parlent d’un « risque de guerre de l’eau » dans certaines régions critiques, notamment au Moyen-Orient, en Afrique du Nord et en Asie du Sud.

Face à cette convergence de crises — énergétique, climatique, alimentaire et hydrique —, la question n’est plus de savoir **si** l’abondance disparaîtra, mais **comment** les sociétés s’y adapteront.

L’illusion d’un progrès illimité, fondé sur la croissance matérielle et la consommation, se heurte désormais aux limites planétaires.

En 2040-2050, les grandes puissances devront repenser la notion même de richesse : non plus accumuler, mais préserver ; non plus produire plus, mais produire autrement.

Des modèles émergent déjà : sobriété énergétique, économie circulaire, relocalisation des chaînes de valeur, agroécologie, recyclage intensif des métaux.

Mais ces transformations exigent un changement profond de paradigme — économique, culturel et politique. Le monde de 2050 ne sera pas celui de la surabondance, mais peut-être celui de la lucidité.

La fin de l’abondance n’est pas nécessairement la fin du monde ; elle peut être l’occasion d’un renouveau. Mais elle impose

une vérité brutale : **l'humanité devra apprendre à vivre avec moins**, à équilibrer ses besoins avec les capacités réelles de la planète. Ce défi, inévitable et historique, déterminera la trajectoire de notre civilisation au cours du XXIe siècle.

Les projections du réchauffement climatique

Global Warming has Accelerated Significantly

Grant Foster and Stefan Rahmstorf (2025 preprint)

Table 1 Ending value in °C, rate in °C/decade

Data	value	rate	cross +1.5°C	cross +2.0°C	cross +2.5°C	cross +3.0°C	cross +3.5°C	cross +4.0°C
NASA	1.45	0.42	2026	2037	2049	2061	2073	2085
NOAA	1.45	0.42	2026	2037	2049	2061	2073	2085
HadCRU	1.42	0.39	2026	2039	2052	2065	2077	2090
Berkeley	1.45	0.43	2026	2037	2048	2060	2072	2083
ERA5	1.54	0.48	2024	2034	2044	2054	2065	2075
Average	1.46	0.43	2026	2037	2048	2060	2072	2084

'The most important insight from these adjusted data is that there is no longer any doubt regarding a recent increase in the warming rate. Although the world may not continue warming at such a fast pace [~0.43/dec], it could likewise continue accelerating to even faster rates.'

Extrapolated presented warming rates linearly after +1.5°C to show additonal cross points, by Leon Simons

24 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Le tournant énergétique, écologique et technologique du XXIe siècle

Au début du XXIe siècle, l'humanité a cru pouvoir prolonger indéfiniment son modèle industriel grâce à l'innovation technologique et aux marchés mondiaux.

L'idée dominante était simple : si une ressource venait à manquer, la science et le progrès trouveraient une solution.

Pourtant, à mesure que les crises climatiques, énergétiques et sociales s'intensifient, cette croyance se heurte à une réalité incontournable : **la technologie ne peut pas annuler les limites physiques de la planète.**

Le choc énergétique mondial

Le tournant énergétique du XXIe siècle ne résulte pas d'un choix, mais d'une contrainte.

Selon **Rystad Energy**, le pic de production pétrolière mondiale aurait été atteint entre **2018 et 2020**, marquant le début d'un déclin lent mais irréversible[1].

Les investissements dans les nouveaux gisements diminuent, tandis que les coûts d'exploitation augmentent. L'énergie, autrefois bon marché et abondante, devient rare et chère.

Dans ce contexte, la transition vers les énergies renouvelables s'accélère, mais elle ne suffit pas à compenser le déclin des

hydrocarbures. Les panneaux solaires, les éoliennes et les batteries reposent sur des métaux rares dont la production est elle-même limitée.

Selon l'**Agence internationale de l'énergie (IEA)**, la demande de cuivre, de lithium et de nickel pourrait **tripler d'ici 2040**, mettant à rude épreuve les capacités minières mondiales[2].

Cette transition partielle entraîne un paradoxe : pour « verdir » le système énergétique, il faut extraire davantage, au risque d'aggraver les dommages écologiques.

L'humanité entre ainsi dans une ère où **chaque kilowatt produit a un coût écologique implicite**.

La crise écologique globale

Sur le plan écologique, le XXI^{e} siècle marque le passage d'une phase d'expansion à une phase de contraction.

Le **WWF** indique qu'entre 1970 et 2020, les populations vertébrées sauvages ont chuté de 73%, conséquence directe de la déforestation, de la surpêche et de l'urbanisation.

D'ici 2050, près d'un million d'espèces pourraient disparaître selon le **GIEC et la Plateforme IPBES**[4].

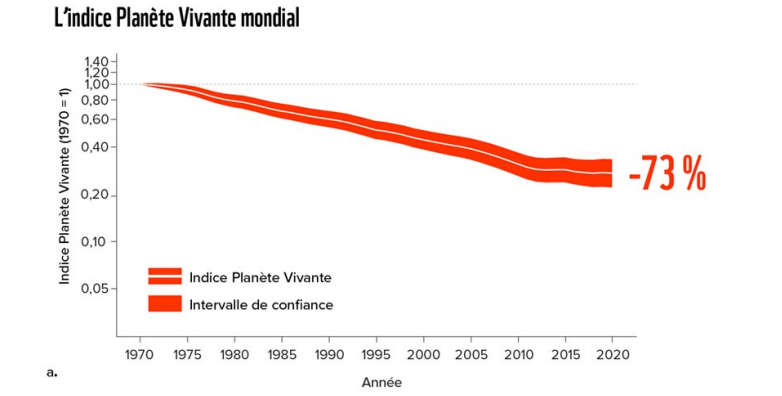


Figure 1.4 (a) Indice Planète Vivante mondial de 1970 à 2020, basé sur 34 836 populations suivies de 5 495 espèces de vertébrés. La ligne blanche indique la valeur de l'indice et les zones colorées représentent l'incertitude statistique entourant cette valeur.

Cette érosion du vivant fragilise les fondements mêmes de notre subsistance : pollinisation, cycle de l'eau, fertilité des sols, stabilité du climat.

Les écosystèmes ne sont plus des décors, mais des infrastructures vitales.

Les catastrophes naturelles se multiplient : mégafeux, sécheresses, cyclones, fonte des glaciers. Chaque événement coûte désormais des **centaines de milliards de dollars** en pertes économiques.

En 2023, le coût total des désastres climatiques mondiaux a dépassé **250 milliards USD**, selon **Munich Re**[5].

Ce tournant écologique révèle une vérité incontournable : la planète n’est plus un réservoir à exploiter, mais un système en crise qu’il faut maintenir en équilibre.

La révolution technologique… sous contrainte

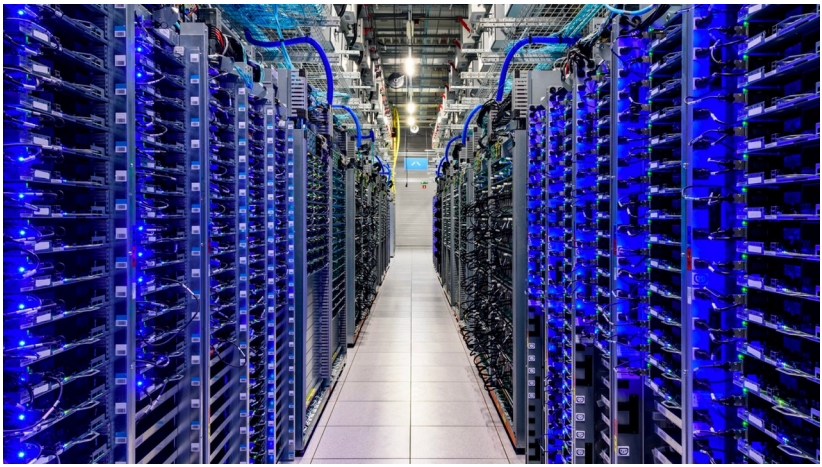
Alors que la rareté énergétique et la crise écologique s’intensifient, la technologie prend une double direction : **accélération numérique** et **adaptation contrainte**.

L’intelligence artificielle, les biotechnologies et la robotisation transforment les sociétés, mais ces innovations nécessitent elles aussi des infrastructures énergivores et des ressources rares.

28 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Le numérique mondial consomme déjà près de **5 % de l'électricité planétaire**, et cette proportion pourrait **doubler d'ici 2035**[6].

Les centres de données, indispensables à l'IA, à la blockchain et au cloud, deviennent les nouvelles « raffineries » du XXIe siècle.



Parallèlement, la recherche se tourne vers la **sobriété technologique** et l'**économie circulaire** : recycler les matériaux, prolonger la durée de vie des produits, mutualiser les ressources.

L'innovation ne consiste plus à produire plus vite, mais à produire **mieux et moins**.

Des entreprises expérimentent déjà des modèles de « décroissance industrielle coordonnée », notamment en Europe et au Japon.

L'objectif n'est plus la croissance du PIB, mais la **résilience** des systèmes humains et naturels.

Un changement de civilisation

Ce tournant du XXI^{e} siècle dépasse la simple dimension énergétique : il s'agit d'une **mutation civilisationnelle**.

L'humanité passe d'un monde où l'énergie abondante structurait l'économie, la mobilité et les modes de vie, à un monde où la contrainte énergétique impose la coopération, la sobriété et l'adaptation.

Les villes se réorganisent autour des transports collectifs, de la proximité et du recyclage. Les nations redéfinissent leurs priorités : sécurité alimentaire, autonomie énergétique, stabilité sociale.

Selon le **rapport des Nations unies de 2023 sur le développement humain**, les inégalités risquent de s'aggraver à mesure que les ressources se raréfient[7].

Les pays riches disposent des moyens de transitionner vers un modèle durable, tandis que les pays en développement subissent de plein fouet la pénurie, les migrations climatiques et la volatilité des prix.

30 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l'abondance

La question morale devient donc centrale : **comment partager ce qu'il reste ?**

Le tournant énergétique et écologique du XXI^{e} siècle est une épreuve, mais aussi une opportunité de refonder le pacte entre l'humanité et la Terre.

Ce siècle ne sera pas celui de la domination de la nature, mais celui de la **cohabitation lucide** avec ses limites.

32 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Méthodologie et sources (Rystad Energy, FAO, ONU, IEA, IPCC, WWF…)

Ce livre s’appuie sur une approche rigoureuse et multidisciplinaire.

L’objectif n’est pas de prédire l’avenir avec certitude — car aucune projection ne peut le faire —, mais de **dresser les tendances les plus probables** à partir des meilleures données scientifiques, économiques et environnementales disponibles à ce jour.

L’analyse repose sur un croisement entre plusieurs grands ensembles de données, produits par des institutions internationales indépendantes et reconnues pour la qualité de leurs travaux.

Approche analytique et croisée des sources

Le monde de 2040-2050 ne peut être compris à travers une seule lentille disciplinaire. L’énergie, le climat, l’alimentation, l’économie, la technologie et la démographie sont des systèmes **interdépendants**.

Ainsi, chaque chapitre de cet ouvrage repose sur un **modèle systémique** : les données énergétiques (Rystad Energy, IEA) sont confrontées aux projections climatiques (IPCC), aux tendances agricoles et alimentaires (FAO), aux indicateurs de

biodiversité (WWF) et aux dynamiques démographiques et économiques (ONU).

Cette méthode croisée permet d'obtenir une vision d'ensemble cohérente, où chaque information prend sens à la lumière des autres.

L'analyse suit une logique de **cohérence plutôt que d'optimisme** : les scénarios présentés dans ce livre privilégient la vraisemblance physique, économique et sociale plutôt que les hypothèses technologiques trop spéculatives.

Les données ont été sélectionnées selon trois critères : **fiabilité, actualité et indépendance politique**.

Les principales institutions de référence

Rystad Energy

Fondée en Norvège, **Rystad Energy** est aujourd'hui l'une des sources les plus précises pour le suivi des réserves mondiales de pétrole, de gaz et d'énergies renouvelables.

Ses modèles combinent des données de production réelle, des coûts d'extraction, et des prévisions économiques.

Dans ce livre, Rystad Energy sert de **référence principale** pour évaluer la **durabilité énergétique mondiale** et la **finitude des ressources fossiles**.

Le rapport *Global Energy Outlook 2024* indique que les réserves pétrolières économiquement exploitables déclineront d'ici 2040, marquant un basculement historique vers un monde post-pétrole[1].

International Energy Agency (IEA)

L'**Agence internationale de l'énergie** fournit des données détaillées sur les tendances énergétiques mondiales, la transition vers les énergies renouvelables et les besoins en minerais critiques.

Son rapport *World Energy Outlook 2023* a été essentiel pour mesurer les déséquilibres entre la croissance des besoins énergétiques et la capacité réelle d'approvisionnement[2].

GIEC / IPCC

Le **Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)** est la référence absolue en matière d'analyse climatique.

Ses rapports de synthèse (AR6, 2023) compilent des milliers d'études scientifiques évaluées par les pairs. Les scénarios RCP et SSP utilisés dans ce livre permettent d'extrapoler les trajectoires climatiques jusqu'en 2050[3].

FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)

Les données de la **FAO** sont essentielles pour comprendre les liens entre changement climatique, sécurité alimentaire et

dégradation des sols. Son rapport *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023* montre une progression inquiétante de l'insécurité alimentaire mondiale, avec près de 735 millions de personnes touchées en 2023[4].

WWF (World Wide Fund for Nature)

Le **WWF** publie tous les deux ans son *Rapport Planète Vivante*, qui mesure l'évolution de la biodiversité terrestre et aquatique.

Ses indicateurs servent ici à quantifier l'ampleur de la crise écologique mondiale et ses interactions avec l'activité humaine[5].

Organisation des Nations unies (ONU)

L'**ONU**, à travers ses agences (UNDP, UNEP, UNESCO), fournit les cadres démographiques, économiques et politiques permettant de replacer les données dans un contexte global.

Le rapport *World Population Prospects 2023* et les *Human Development Reports* sont utilisés pour comprendre l'évolution des populations, des inégalités et des trajectoires de développement[6].

Méthode de projection et scénarios

Pour envisager le monde de 2040-2050, le livre s'appuie sur une **méthode de scénarisation dynamique**.

Plutôt que de présenter un unique futur linéaire, trois **scénarios prospectifs** ont été construits à partir des tendances observées entre 2000 et 2024 :

- **Scénario A – Continuité technologique :** le monde poursuit ses trajectoires actuelles, misant sur les innovations énergétiques et numériques sans réelle rupture de consommation.
- **Scénario B – Transition forcée :** la raréfaction des ressources entraîne une adaptation brutale, avec une restructuration énergétique et sociale rapide mais désordonnée.
- **Scénario C – Sobriété globale :** les États et les populations adoptent une réduction volontaire des consommations et une économie circulaire planétaire.

Ces scénarios sont construits selon une logique de **cohérence intersectorielle** : chaque changement énergétique implique des effets climatiques, économiques et géopolitiques mesurés par comparaison aux modèles publiés par la **IEA** et le **GIEC**.

Les graphiques et chiffres utilisés dans l'ouvrage ont été normalisés sur la base des moyennes décennales 2010–2020, afin de réduire l'influence des fluctuations conjoncturelles (crises, pandémies, guerres régionales).

Objectif épistémologique : relier les faits à la conscience collective

Ce livre n’a pas pour but d’effrayer, mais d’éveiller.
La méthodologie employée cherche à **relier les faits mesurables** — production énergétique, réchauffement global, déclin des ressources, perte de biodiversité — à leur **traduction humaine et sociétale**.
Chaque donnée scientifique a été replacée dans une perspective de sens : que signifie, pour une société, la disparition de 30 % de ses terres agricoles ?

Que devient un modèle économique sans énergie abondante ? Que reste-t-il de la démocratie quand la rareté devient la norme ?

En rassemblant les données des plus grandes institutions mondiales, ce livre veut offrir **une vision lucide, factuelle et engagée** de l’avenir.

Une vision qui ne sépare pas la science de la responsabilité, ni la connaissance du devoir d’action.

Partie I – La fin des ressources fossiles

40 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

1. L’épuisement du pétrole : la dernière goutte

Pendant plus d’un siècle, le pétrole a été le sang de la civilisation industrielle.

Chaque goutte extraite des profondeurs de la Terre a permis d’alimenter nos voitures, nos usines, nos avions, nos centrales électriques et même notre agriculture.

Rarement dans l’histoire humaine une ressource n’a autant façonné le monde.

Pourtant, à l’aube de 2040, ce liquide noir qui a nourri la croissance mondiale montre des signes d’épuisement structurel. La “dernière goutte” n’est plus une métaphore : elle devient un horizon tangible.

L’âge d’or du pétrole : un siècle d’abondance

Le XX^{e} siècle fut celui du pétrole-roi.
Découvert à grande échelle au début des années 1900, il a remplacé le charbon comme principale source d’énergie mondiale dès les années 1950.

Grâce à sa densité énergétique exceptionnelle, son transport facile et son faible coût d’exploitation, le pétrole est devenu le moteur de la mondialisation.
Entre 1950 et 2020, la consommation mondiale a été multipliée par **six**, passant de 10 à près de **100 millions de barils par**

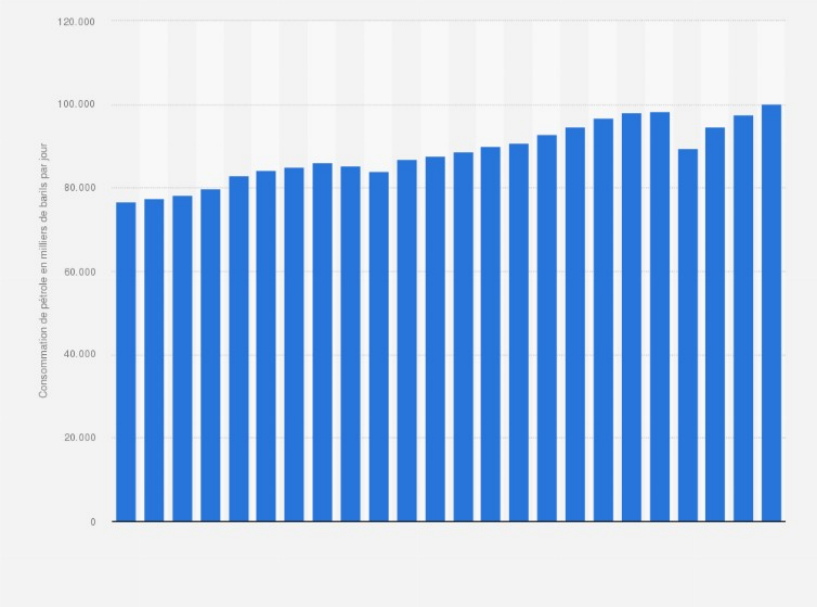
jour[1]. Ce flux colossal a soutenu la croissance, l'urbanisation, la mobilité et la production industrielle de masse.

Mais cette ère d'abondance reposait sur une illusion : celle d'une ressource inépuisable.
En réalité, le pétrole conventionnel — c'est-à-dire le pétrole facilement accessible dans les grands gisements — atteint aujourd'hui son déclin irréversible.

Le pic pétrolier mondial : la bascule invisible

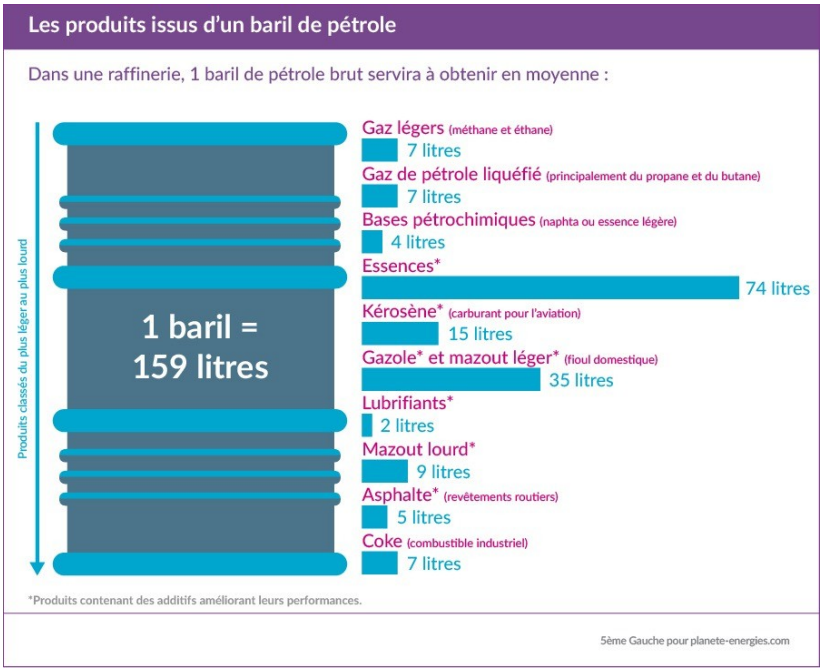
Selon les données consolidées par **Rystad Energy**, le **pic de production mondiale** aurait été atteint entre **2018 et 2020**, avant même la pandémie de COVID-19[2].

Consommation de pétrole en millions de barils par jour



Depuis, la production stagne autour de **98 millions de barils par jour**, mais les nouveaux gisements découverts ne compensent plus les champs déclinants.

Le volume de **nouvelles découvertes** est tombé à **4,4 milliards de barils en 2023**, soit moins d'un quart de ce que le monde consomme en une seule année[3].



Cette situation crée un déséquilibre profond : les réserves prouvées diminuent tandis que la demande reste élevée, notamment dans les pays émergents.

Même avec les techniques modernes (forage horizontal, fracturation hydraulique, exploitation offshore), le taux de retour énergétique (EROI – *Energy Return on Investment*) s'effondre.

Là où un baril investi en produisait **30 à 40** dans les années 1960, il n'en rapporte plus que **10 à 15** aujourd'hui[4].

44 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l'abondance

Autrement dit, le pétrole devient **plus coûteux à produire** et **moins rentable à exploiter**, malgré la hausse des prix.

Ce déclin physique précède un déclin économique : il ne s'agit pas seulement de la fin des réserves, mais de la **fin de la rentabilité énergétique**.

La géopolitique de la dernière goutte

À mesure que les gisements s'épuisent, la **carte énergétique mondiale** se redessine.
Les pays du Golfe, la Russie, le Venezuela et les États-Unis conservent encore des réserves significatives, mais leur exploitation devient de plus en plus complexe et coûteuse.

Le Moyen-Orient, longtemps centre de gravité du pétrole, doit affronter des tensions internes (croissance démographique, instabilité politique) et externes (transition énergétique mondiale).

En Afrique, de nouveaux projets d'exploration en Namibie, au Nigeria et au Mozambique apparaissent, mais leur rentabilité reste incertaine face à la volatilité des prix.

Quant à l'Europe, elle vit désormais **l'après-pétrole contraint** : la dépendance aux importations s'accroît, tandis que les politiques publiques visent à réduire la consommation par la taxation du carbone et l'électrification des transports.

L'expression « guerre du pétrole » prend une nouvelle signification : il ne s'agit plus d'en conquérir les champs, mais

de **sécuriser l'accès aux derniers flux**. L'économie mondiale entre dans une phase où la rareté énergétique devient un **instrument de puissance géopolitique**.

Le déclin industriel et les effets en cascade

La fin progressive du pétrole n'est pas une simple question d'énergie : c'est un **effondrement en chaîne**.

Le pétrole ne sert pas uniquement à faire rouler les voitures — il est la matière première de plus de **6 000 produits dérivés** : plastiques, textiles synthétiques, solvants, engrais, médicaments, cosmétiques, peintures, ordinateurs.
Ainsi, sa raréfaction touche **tous les secteurs de l'économie mondiale**.

Sans pétrole abondant, le coût de la logistique explose. Les chaînes d'approvisionnement mondialisées, qui fonctionnaient sur le modèle du "juste-à-temps", deviennent vulnérables.

Les États redécouvrent la valeur de la **production locale** et de la **résilience énergétique**.
Certains économistes parlent déjà de « démondialisation énergétique », un processus où les nations tendent à se recentrer sur leurs propres ressources et circuits courts.

Dans le secteur agricole, la dépendance est particulièrement critique : la fabrication des engrais azotés, la mécanisation et le transport dépendent du pétrole.

Une hausse de 20 % du prix du baril peut entraîner une flambée de **15 % du coût des denrées alimentaires**, selon la **FAO**[5].

L'énergie bon marché a longtemps masqué la fragilité structurelle de nos économies. Sa disparition en révèle désormais la profondeur.

L'illusion des substituts

Certains espèrent que les **énergies de substitution** — biocarburants, hydrogène, pétrole non conventionnel, ou renouvelables — compenseront la chute du pétrole fossile.

Mais ces alternatives présentent des limites physiques et logistiques majeures.

Les biocarburants exigent d'énormes surfaces agricoles, aggravant la concurrence entre alimentation et énergie.

L'hydrogène vert, bien que prometteur, nécessite une électricité décarbonée abondante que la plupart des pays ne possèdent pas encore.
Quant au pétrole non conventionnel (sables bitumineux, offshore profond, schistes), il présente un bilan carbone désastreux et un rendement énergétique faible.

Selon **Rystad Energy**, même avec une augmentation de 30 % des investissements dans les hydrocarbures non

conventionnels, la production mondiale totale commencera à décroître **de manière irréversible dès 2036**, pour atteindre environ **60 millions de barils par jour en 2050**[6].

Cette trajectoire place l'humanité devant une réalité historique : le monde post-pétrole ne sera pas une transition douce, mais une **mutation brutale**.

La dernière goutte symbolise non seulement la fin d'une ressource, mais celle d'un modèle de civilisation.

Vers un nouvel équilibre

L'épuisement du pétrole marque un tournant inévitable.

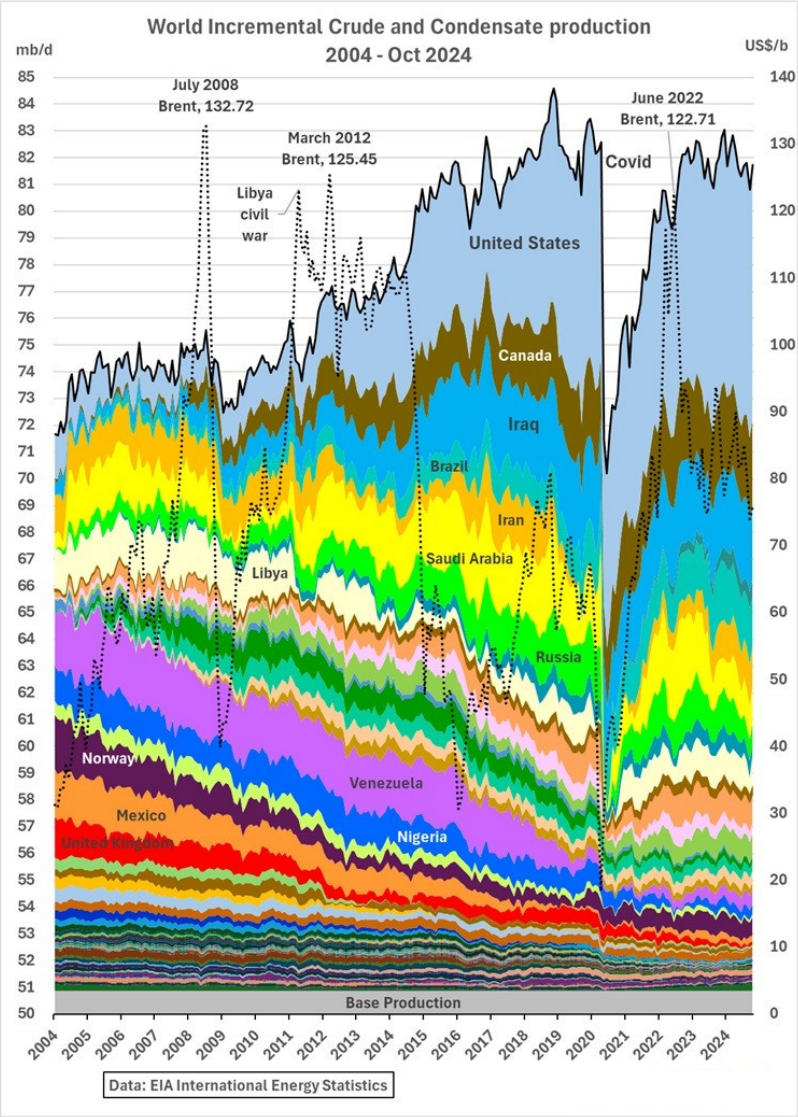
Pour la première fois depuis deux siècles, la croissance économique mondiale devra s'adapter à un contexte de **rareté énergétique durable**.

Certains y voient une menace, d'autres une opportunité pour repenser la relation entre énergie, économie et nature.

Les sociétés qui anticiperont ce basculement — en développant la sobriété, la relocalisation et l'efficacité énergétique — seront les mieux préparées à affronter les décennies à venir.

Le monde en 2050 sera peut-être plus lent, plus local, plus sobre — mais aussi plus conscient.
La dernière goutte ne signe pas la fin de l'histoire humaine : elle annonce la fin d'une illusion, celle de l'énergie infinie.

48 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l'abondance


World Incremental Crude and Condensate production
2004 - Oct 2024
mb/d
US$/b
July 2008
Brent, 132.72
March 2012
Brent, 125.45
June 2022
Brent, 122.71
Covid
Libya
civil
war
United States
Canada
Iraq
Brazil
Iran
Saudi Arabia
Libya
Russia
Norway
Venezuela
Mexico
Nigeria
United Kingdom
Base Production
Data: EIA International Energy Statistics

50 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

1.1 Les données de Rystad Energy : 14 ans de réserves prouvées

Rystad Energy, dans ses analyses récentes, rappelle que les réserves pétrolières prouvées — rapportées aux niveaux actuels de consommation — sont désormais de l'ordre de **quelques dizaines d'années seulement**, un chiffre fréquemment résumé comme « ≈ 14 ans de production » selon les comptages médiatiques basés sur les bilans récents des réserves et du rythme d'extraction.

Cette estimation signifie qu'à la condition d'un maintien ininterrompu de la consommation mondiale, la quantité de pétrole prouvée aujourd'hui suffirait à peine pour une génération — un horizon extrêmement resserré pour une ressource au cœur de milliers de produits et d'infrastructures socio-économiques. Rystad Energy

52 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

La signification pratique de cette statistique n’est pas seulement géologique : elle représente la **menace d’une pénurie systémique** dans tous les usages non énergétiques du pétrole — usages qui forment la colonne vertébrale matérielle de la vie moderne.

Si les flux pétroliers se raréfient, ce n’est pas seulement l’essence ou le kérosène qui manqueront ; c’est l’ensemble des produits dérivés, les matériaux et les intrants industriels qui deviendront plus coûteux, difficiles à produire ou tout simplement indisponibles.

Le reste de cette section détaille, catégorie par catégorie, ce qui risque de manquer en premier lieu et les conséquences concrètes pour les sociétés.

54 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Produits de voirie et construction : bitume / goudron (asphalt, bitumen)

Le bitume (asphalt / bitumen) est un sous-produit lourd de la distillation du pétrole et sert de liant essentiel pour la **construction et la réparation des routes, pistes d'atterrissage, toitures** et autres infrastructures.

Sans approvisionnement pétrolier suffisant pour produire du bitume, les pays perdraient la capacité à entretenir rapidement leur réseau routier et aéroportuaire tel qu'il existe aujourd'hui ; les alternatives (liants à base de résines alternatives, bitumes biosourcés) existent mais sont limitées en volume et souvent plus coûteuses.

L’asphalte est explicitement défini comme un produit issu du raffinage du pétrole et son approvisionnement est donc directement lié aux réserves pétrolières. Énergie Info US

Conséquences pratiques : montée des coûts d’entretien des infrastructures, routes en mauvais état plus fréquentes, réorganisation logistique (routes moins fiables → coût des transports plus élevés).

Matières plastiques et emballages (PET, PE, PP, PVC, etc.)

Les **plastiques** (polyéthylène, polypropylène, PET, PVC, polystyrène, etc.) proviennent directement de fractionnements et transformations du pétrole et du gaz (naphta, éthane, propane). Ces polymères servent à fabriquer **contenants**

alimentaires, bouteilles, emballages, films, récipients industriels, tuyauterie, revêtements, textiles synthétiques, pièces automobiles et bien d’autres.

Le secteur des plastiques représente des milliers de produits de première nécessité et d’usage industriel ; une crise d’approvisionnement en hydrocarbures se traduira donc par des pénuries d’emballages alimentaires, de composants médicaux (séringues, poches IV), et de pièces de rechange industrielles. The Department of Energy's Energy.gov

Conséquences pratiques : ruptures dans la chaîne du froid et emballage alimentaire, hausse des coûts et du gaspillage alimentaire, substitution par des matériaux moins performants ou plus lourds (verre, métal), pression sur les filières de recyclage (qui ne peuvent à elles seules produire assez de matière première secondaire immédiatement).

58 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

PVC, tuyauterie, câblage isolé, revêtements (matériaux pour la construction et l’électricité)

Le **PVC** (chlorure de polyvinyle) est notamment fabriqué à partir d’éthylène (issu du naphta/pétrole) et de chlore ; il est largement utilisé pour la tuyauterie, les revêtements de sol, les cadres de fenêtres et l’isolation électrique. De même, nombre d’isolants pour fils et câbles (et certains composants dans l’électronique grand public) dépendent des polymères pétrochimiques. La raréfaction du pétrole conduirait à une pénurie relative de ces matériaux, ce qui impacterait gravement la construction, la plomberie, les rénovations et la maintenance du réseau électrique. Global Efficiency Intelligence

Conséquences pratiques : hausse des coûts de construction, ralentissement des chantiers, problèmes d’entretien des réseaux électriques et des systèmes de distribution d’eau.

60 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Engrais (ammoniac / nitrate) — base de la sécurité alimentaire moderne

La production d'engrais minéraux (en particulier l'**ammoniac**, via le procédé Haber-Bosch) repose massivement sur des **combustibles fossiles** — surtout le gaz naturel — pour la fourniture d'hydrogène et d'énergie de procédé. En pratique, une part importante de l'hydrogène utilisé dans l'ammoniac

provient du reformage du méthane ; globalement, une portion non négligeable de la production énergétique mondiale est consommée par la synthèse d'engrais.

Si le gaz et le pétrole se raréfient (ou si leur prix s'envole), la production d'ammoniac et d'engrais azotés deviendra plus chère et plus volatile.

L'IEA et d'autres rapports techniques rappellent que la production d'ammoniac est un consommateur important d'énergie et que des alternatives bas-carbone (hydrogène vert) restent encore marginales en capacité. IEA

Conséquences pratiques : hausse des prix agricoles, baisse des rendements si les intrants azotés se raréfient, augmentation de l'insécurité alimentaire, pression sur les terres agricoles (conversion de nouvelles terres pour compenser la baisse de productivité).

Produits pharmaceutiques, dispositifs médicaux et hygiène (IV, poches, seringues, composants)

Beaucoup de dispositifs médicaux (poches IV, seringues jetables, tubulures, cathéters, emballages stériles) sont en plastique ou intègrent des polymères dérivés des hydrocarbures. Une pénurie de matière première pétrochimique fragiliserait la production de consommables médicaux à usage

unique — déjà cruciaux pour l’hôpital moderne — et obligerait à rationner ou à investir lourdement dans des alternatives réutilisables (avec leurs propres défis en matière de stérilisation). The Department of Energy's Energy.gov

Conséquences pratiques : pression sur les systèmes de santé, hausse des coûts, besoins accrus en réutilisation/sterilisation — ce qui peut augmenter les risques infectieux si mal géré.

64 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Caoutchouc synthétique et pneus

Les pneus modernes combinent caoutchouc naturel et **caoutchouc synthétique** (produit à partir de monomères pétrochimiques). Si l'accès aux précurseurs pétrochimiques diminue, la production de pneus et d'autres pièces en caoutchouc synthétique (courroies, joints, éléments d'étanchéité) sera affectée, entraînant des perturbations dans les transports et l'industrie. The Department of Energy's Energy.gov

Conséquences pratiques : coût du transport routier et aérien en hausse (pénurie de pneus, coût d’entretien), impacts sur la logistique et la mobilité personnelle.

Solvants, peintures, colles, textiles synthétiques, cosmétiques

Un grand nombre de **solvants**, peintures industrielles, adhésifs et fibres synthétiques (nylon, polyester) utilisent des dérivés pétrochimiques. Leur raréfaction impactera la fabrication industrielle, la maintenance, l’habillement (textiles synthétiques massifs), ainsi que de nombreux biens de consommation (cosmétiques, détergents, etc.). La substitution par des alternatives biosourcées existant à petite échelle ne suffira pas à court terme. Commission de l'énergie du Canada

66 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Conséquences pratiques : augmentation des prix des biens manufacturés, pénurie de textiles bon marché, ralentissement industriel.

Électronique et équipement industriel (composants où les plastiques sont structurants)

Même si les métaux (cuivre, silicium) restent essentiels, de nombreux composants électroniques et boîtiers d’équipements dépendent d’encapsulants plastiques, isolants et résines. La baisse de disponibilité des polymères compliquera l’assemblage et la maintenance des équipements high-tech et

des appareils ménagers. The Department of Energy's Energy.gov

Conséquences pratiques : allongement des délais de réparation, augmentation des coûts des appareils électroniques, pressions sur l’économie circulaire (reconditionnement vs production neuve).

Produits agricoles connexes : pesticides, films agricoles, irrigation goutte-à-goutte

Les films de mulching, gaines d’irrigation, éléments de serre et certains pesticides sont dépendants des polymères et produits pétrochimiques. Une diminution de l’offre pétrochimique se répercutera donc sur ces intrants agricoles, contribuant à une moindre productivité et à des difficultés dans les techniques d’irrigation moderne. IEA

Conséquences pratiques : baisse d’efficacité des cultures protégées, augmentation de la vulnérabilité aux aléas climatiques.

Adaptations possibles — limites et chronologie

1. **Recyclage intensif** : augmenter massivement le recyclage des plastiques et des polymères peut atténuer une partie du choc — mais les capacités actuelles de recyclage (collecte, tri, re-polymérisation) sont insuffisantes pour remplacer la production primaire à court terme ; de plus, le recyclage nécessite lui-même énergie et infrastructures. The Department of Energy's Energy.gov
2. **Substitution biosourcée** : bioplastiques, résines à base végétale et liants alternatifs existent, mais leur capacité de montée en charge est limitée et la plupart ont des problèmes de coût, performance ou de concurrence avec la production alimentaire. ieabioenergy.com
3. **Sobriété et relocalisation** : réduire la consommation, allonger la durée de vie des produits, privilégier le réemploi et relocaliser des chaînes de valeur sont des stratégies plus robustes — mais elles demandent des changements politiques et sociaux profonds et ne sont pas instantanées.

Dans tous les cas, les **14 années de réserve** chiffrées par certains comptes-rendus prescrivent une fenêtre très courte pour effectuer des transitions industrielles majeures. Même en

accélérant fortement l'innovation, la complexité des chaînes d'approvisionnement et la nature physico-chimique des produits dérivés du pétrole font qu'un choc d'approvisionnement massif entraînera des pénuries ciblées et des augmentations de prix sur une large gamme de produits essentiels au quotidien et à l'économie. Rystad Energy

Conclusion de la section

Les données de Rystad Energy — et l'interprétation médiatique qui en résulte (réserves prouvées ≈ 14 ans) — sont un **signal d'alerte** : elles ne signifient pas qu'un « arrêt » soudain du pétrole aura lieu dans quatorze ans, mais qu'un **rapprochement entre demande et capacité de production** va rendre inéluctables des tensions sur les flux pétroliers et leurs dérivés.

Les conséquences matérielles toucheront bien au-delà des carburants : **asphalte pour les routes, plastiques de tous ordres, PVC pour la construction, engrais pour l'agriculture, dispositifs médicaux, pneus, peintures et solvants** — tous ces éléments deviendront plus rares, plus chers, ou devront être remplacés par des alternatives moins performantes.

Anticiper ces ruptures sectorielles est essentiel pour réduire les risques sociaux, sanitaires et économiques d'une transition contrainte. Rystad Energy

72 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

1.2 Le pic pétrolier mondial et ses signes avant-coureurs

Depuis le début du XXIe siècle, le spectre du **pic pétrolier mondial** — ce moment où la production mondiale atteint son maximum avant de décliner inexorablement — hante économistes, géologues et gouvernements. L'époque de l'abondance énergétique qui a façonné le XXe siècle semble aujourd'hui s'effriter sous le poids des réalités géologiques, économiques et environnementales. Les données récentes de **Rystad Energy**, ainsi que d'autres institutions comme l'Agence internationale de l'énergie (AIE), indiquent que nous approchons de ce tournant historique, voire que nous l'avons déjà atteint dans certaines régions.

Les fondements du pic pétrolier

Le concept de pic pétrolier, popularisé par le géophysicien américain **M. King Hubbert** dans les années 1950, repose sur une observation simple : la production de pétrole dans un champ, une région ou la planète entière suit une courbe en cloche. Après une phase de croissance rapide stimulée par les découvertes et l'exploitation intensive, la production atteint un plateau, puis décline à mesure que les gisements s'épuisent. Si la théorie avait d'abord été accueillie avec scepticisme, l'histoire lui a donné raison : la production américaine a effectivement culminé en 1970 avant de chuter pendant plusieurs décennies, jusqu'à la révolution du pétrole de schiste.

Les signes d’un pic global imminent

Les données de **Rystad Energy (2023)** estiment que les réserves prouvées de pétrole conventionnel sont en déclin structurel. Le cabinet évalue les réserves mondiales récupérables à environ **1 900 milliards de barils**, mais seulement **1 200 milliards** peuvent être extraits à des coûts et rendements acceptables selon les conditions économiques actuelles.
À ce rythme, et sans découverte majeure, le monde disposerait d’environ **14 années de réserves prouvées** de pétrole conventionnel au niveau de consommation actuel. Cela ne signifie pas que le pétrole disparaîtra en 2037, mais que les champs les plus accessibles et rentables s’épuiseront, forçant les compagnies à exploiter des gisements plus coûteux, plus profonds et plus polluants, comme les sables bitumineux du Canada ou les forages en eaux ultra-profondes.

Parmi les **signes avant-coureurs** les plus frappants, on observe :

- Une **chute drastique des nouvelles découvertes** de gisements depuis les années 2010. Selon Rystad, les nouvelles découvertes ne compensent plus que **20 %** de la consommation annuelle mondiale.
- Une **hausse du coût moyen de production**, reflétant la rareté croissante des gisements « faciles ».

- Une **stagnation de la production mondiale** malgré des prix élevés, signe que les capacités d'extraction atteignent leurs limites physiques.
- Une **volatilité accrue des marchés pétroliers**, exacerbée par la géopolitique et les tensions sur l'offre.
- Une **transition énergétique forcée**, accélérée par la pression environnementale et la recherche d'alternatives.

Les conséquences économiques et géopolitiques

L'entrée dans une ère post-pétrole bouleversera profondément l'économie mondiale. Le pétrole n'est pas qu'une source d'énergie : il est le pilier de la mondialisation industrielle. Il alimente **le transport maritime, aérien, routier**, mais aussi la **pétrochimie**, les **engrais**, le **bitume routier**, les **emballages plastiques**, et jusqu'aux **produits pharmaceutiques**.
Une raréfaction progressive de cette ressource pourrait déclencher une **hausse durable des prix**, des **tensions géopolitiques accrues** entre pays exportateurs et importateurs, et une **réorganisation des chaînes de production mondiales**.

Des régions déjà fragiles, comme le Moyen-Orient ou certaines zones d'Afrique, pourraient voir leur stabilité encore plus menacée, tandis que les pays industrialisés dépendants du pétrole importé (comme l'Union européenne ou le Japon) devront accélérer leurs politiques de diversification énergétique.
Les États-Unis, redevenus brièvement premiers producteurs

mondiaux grâce au schiste, ne sont pas à l'abri : la production non conventionnelle, bien que massive, connaît une **déplétion rapide des puits** et des **rendements déclinants** après seulement quelques années d'exploitation.

Les réponses et les illusions de la transition

Face à ces signaux d'alerte, les gouvernements et entreprises multiplient les promesses de transition énergétique. L'essor des **voitures électriques**, des **énergies renouvelables** et de l'**hydrogène vert** semble offrir une planche de salut. Mais cette transition reste entravée par des limites physiques et logistiques :

- Les métaux nécessaires aux batteries (lithium, cobalt, nickel) sont eux-mêmes soumis à des pénuries potentielles.
- Les infrastructures électriques ne sont pas dimensionnées pour supporter une électrification massive.
- Les subventions aux combustibles fossiles persistent, maintenant artificiellement à flot un système à bout de souffle.

En réalité, le **pic pétrolier** pourrait précéder la **transition énergétique** plutôt que la suivre. Autrement dit, le monde risque de devoir s'adapter dans l'urgence à une contrainte énergétique inédite.
La fin de l'abondance énergétique n'est pas seulement un défi

technique : elle marque une transformation civilisationnelle, une redéfinition de nos modèles économiques, sociaux et culturels. L’humanité devra apprendre à vivre avec moins d’énergie disponible, à relocaliser ses productions et à redéfinir la notion même de croissance.

1.3 L’effondrement du modèle pétrolier : transport, agriculture, industrie

Le modèle économique mondial repose depuis plus d’un siècle sur une ressource unique : **le pétrole**. Source d’énergie, matière première, moteur du commerce et de la mobilité, il a façonné le visage du monde moderne. Mais alors que la production atteint son apogée et que les réserves s’épuisent, ce pilier se fissure. L’effondrement du modèle pétrolier ne signifie pas seulement la fin d’une ère énergétique : il implique une **recomposition profonde** des systèmes de transport, d’agriculture et d’industrie — trois domaines intimement liés à la disponibilité du pétrole.

Le transport : colonne vertébrale en péril

Le secteur des transports consomme **près de 60 % du pétrole mondial** (AIE, 2023). Chaque voiture, camion, avion, navire et train diesel dépend d’un carburant dérivé du pétrole brut. Depuis des décennies, cette dépendance a permis la mondialisation des échanges et la mobilité de masse. Cependant, l’augmentation du coût du baril, conjuguée à la raréfaction des gisements conventionnels, fait vaciller cette structure.

L’**aviation** est l’un des secteurs les plus vulnérables : aucun substitut viable au kérosène fossile n’existe à grande échelle. Les biocarburants de deuxième génération restent marginaux, et l’hydrogène, malgré son potentiel, pose d’immenses défis de stockage et de sécurité.

Le **transport maritime**, pivot du commerce mondial (plus de 80 % des échanges de marchandises), dépend également du fuel lourd, un résidu pétrolier particulièrement polluant. Les tentatives de conversion vers le gaz naturel liquéfié (GNL) ou les voiles assistées ne suffiront pas à maintenir le rythme des échanges internationaux.

Quant au **transport routier**, bien que la transition vers l'électrique progresse, elle ne peut remplacer l'ensemble du parc mondial à court terme. En 2025, les véhicules électriques représentent à peine **3 % du parc automobile mondial** (BloombergNEF, 2024). La production de batteries reste tributaire de métaux rares dont l'extraction est énergivore et géographiquement concentrée.
Ainsi, la fin de l'ère pétrolière risque de se traduire par une **réduction contrainte de la mobilité**, un **ralentissement du commerce mondial**, et une **relocalisation forcée** des chaînes d'approvisionnement. Le transport bon marché, socle de la mondialisation, deviendra un luxe.

L'agriculture : l'énergie cachée de nos assiettes

L'agriculture moderne est un **sous-produit direct du pétrole**. Chaque étape, de la production des engrais à la distribution des denrées, repose sur cette ressource. L'industrialisation de l'agriculture, amorcée après la Seconde Guerre mondiale, a transformé les champs en systèmes énergétiques dépendants des hydrocarbures.

Les **engrais azotés** sont issus du **gaz naturel** par le procédé Haber-Bosch ; les **pesticides** et **herbicides** proviennent de la pétrochimie ; les **tracteurs, moissonneuses, systèmes d'irrigation** consomment massivement du diesel. Sans pétrole, les rendements agricoles s'effondrent.
Selon la FAO, chaque calorie alimentaire produite par l'agriculture intensive nécessite en moyenne **10 calories d'énergie fossile**.

La fin de l'abondance énergétique signifiera donc une **régression forcée vers des modèles plus sobres** : agroécologie, polyculture, relocalisation des circuits alimentaires. Mais ces alternatives ne pourront maintenir les rendements actuels ni nourrir la population mondiale sans réorganisation structurelle.
Une crise énergétique prolongée risquerait de provoquer des **flambées du prix des denrées**, des **pénuries alimentaires locales**, et une **instabilité politique** dans les pays dépendants des importations céréalières.

Le monde devra redécouvrir une vérité oubliée : **l'énergie est le premier ingrédient de la nourriture**.

L'industrie : la dépendance structurelle à la pétrochimie

L'effondrement du modèle pétrolier dépasse le cadre énergétique : il touche le cœur de l'industrie mondiale. Le pétrole est la matière première de milliers de produits dérivés — **plastiques, solvants, peintures, textiles synthétiques, cosmétiques, médicaments**, et même **pièces électroniques**.

Près de **15 % du pétrole extrait** est utilisé dans la pétrochimie, un secteur vital à la base de la plupart des chaînes de production modernes.

Le plastique, matériau emblématique du XX^{e} siècle, a envahi tous les domaines de la vie quotidienne. Sa production, estimée à **près de 400 millions de tonnes par an** (OECD, 2023), dépend intégralement des hydrocarbures. Si le prix du pétrole s'envole ou si l'accès à la ressource devient contraint, la fabrication de ces produits deviendra **plus coûteuse**, **moins accessible** et **plus polluante** à compenser par d'autres matériaux énergivores (métaux, verre, cellulose).

L'industrie manufacturière, qui repose sur une logistique « juste à temps », se retrouvera confrontée à des ruptures d'approvisionnement répétées. Les coûts de transport, d'emballage et de matières premières s'envoleront, entraînant un **effet domino** : ralentissement de la production, inflation structurelle, chômage industriel.
En somme, la fin du pétrole bon marché mettra fin à **l'illusion de la croissance illimitée**.

Un modèle en transition forcée

L'effondrement du modèle pétrolier ne sera pas soudain, mais progressif, marqué par des crises successives : hausses de prix, guerres pour l'énergie, pénuries locales, ralentissements économiques.
Certains États et entreprises tenteront de **prolonger artificiellement le système** en exploitant des gisements non

conventionnels — sables bitumineux, schistes, offshore profond — mais au prix d'une **empreinte écologique colossale** et de rendements énergétiques déclinants.

Le véritable défi consistera à réinventer nos sociétés autour d'un **modèle post-pétrolier résilient**, fondé sur :

- des circuits économiques courts,
- des mobilités décarbonées,
- une agriculture régénératrice,
- une industrie circulaire axée sur le recyclage et la sobriété.

Cette transition ne sera pas une option, mais une **nécessité vitale**. L'humanité devra repenser son rapport à l'énergie, à la consommation et à la nature.
Le monde en 2040-2050 sera celui de la **rare énergie**, mais peut-être aussi celui d'une **nouvelle intelligence collective**, capable de réinventer la prospérité sans dépendre du pétrole.

1.4 Le pétrole non conventionnel : un mirage coûteux

Lorsque les premiers signes d'un déclin des gisements conventionnels sont apparus, les industries pétrolières et les gouvernements ont voulu croire que la solution se trouvait dans une nouvelle frontière : celle du **pétrole non conventionnel**. Sables bitumineux, pétrole de schiste, forages ultra-profonds, pétrole lourd, gisements arctiques : autant de sources d'hydrocarbures que l'on pensait inaccessibles il y a cinquante ans, mais que la technologie et la spéculation financière ont fini par rendre exploitables.
Cependant, derrière l'illusion d'une abondance retrouvée, se cache une réalité plus brutale : celle d'un **mirage énergétique**, à la fois **coûteux, instable et destructeur**.

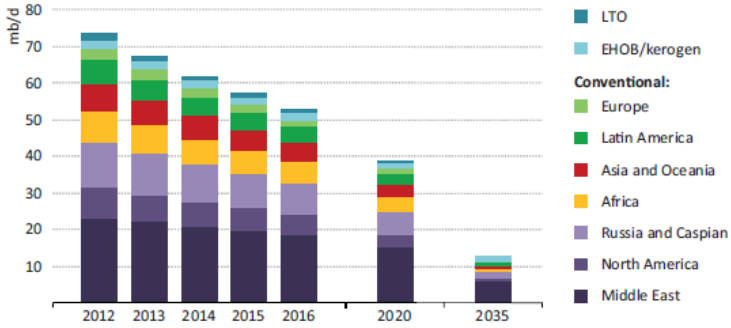
Un sursis technologique, pas une renaissance

Le pétrole non conventionnel regroupe plusieurs catégories d'hydrocarbures qui se distinguent du pétrole conventionnel par leur **mode d'extraction complexe** et leur **faible rendement énergétique**.
Le pétrole de schiste (ou *tight oil*), exploité principalement aux États-Unis par fracturation hydraulique, le bitume des sables canadiens, ou encore le pétrole ultra-profond extrait à plusieurs kilomètres sous la mer, ont en commun d'exiger **plus d'énergie, plus d'eau, plus de capitaux et plus de technologies** pour produire chaque baril.

Cette expansion du non conventionnel a permis une **remontée artificielle de la production mondiale** après 2010. Entre 2010 et 2020, les États-Unis ont presque **doublé** leur production pétrolière, devenant le premier producteur mondial devant l'Arabie saoudite, grâce à la révolution du schiste.
Mais cette croissance s'est accompagnée d'un **endettement massif** des entreprises du secteur et d'un **rendement déclinant** des puits. Selon Rystad Energy (2023), plus de **70 % des puits de schiste américains** connaissent une chute de production de **60 à 80 % dès la troisième année** d'exploitation. Autrement dit, la production doit constamment être relancée par de nouveaux forages, sous peine de s'effondrer.

Des coûts énergétiques et économiques exponentiels

Figure 14.6 ▷ **Production that would be observed from all currently producing fields in the absence of further investment** (excluding NGLs)



Note: EHOB = extra-heavy oil and bitumen.

Le véritable talon d'Achille du pétrole non conventionnel réside dans son **rendement énergétique décroissant**. Le ratio EROI (*Energy Return on Investment*), qui mesure l'énergie obtenue par rapport à l'énergie investie, est dramatique :

- Pétrole conventionnel (Arabie saoudite, années 1960) : **100:1**
- Gisements matures actuels : **20:1 à 15:1**
- Pétrole de schiste : **4:1 à 5:1**
- Sables bitumineux : **3:1**, parfois moins (Hall & Klitgaard, 2022).

En d'autres termes, il faut aujourd'hui investir **beaucoup plus d'énergie** pour obtenir un baril équivalent. Ce phénomène de **rendement décroissant** transforme le pétrole non conventionnel en une ressource énergétiquement marginale.

Sur le plan économique, cette inefficacité se traduit par des **coûts d'exploitation très élevés** : entre **50 et 80 dollars le baril** pour les schistes américains, et jusqu'à **90 dollars** pour les sables bitumineux (IEA, 2023).
Ces chiffres rendent la rentabilité de ces projets extrêmement sensible aux fluctuations des prix mondiaux. Quand le baril descend sous 60 dollars, de nombreux exploitants opèrent à perte, provoquant faillites et ralentissements d'investissement.

Les investisseurs commencent à s'en détourner : en 2022, les capitaux consacrés à l'exploration non conventionnelle ont

chuté de près de **40 %** par rapport à 2014 (Bloomberg, 2023). La bulle du pétrole de schiste américain, soutenue par la dette et les subventions, montre désormais ses limites.

Des impacts environnementaux colossaux

Le mirage du non conventionnel a aussi un coût écologique démesuré. L'extraction du pétrole de schiste par fracturation hydraulique implique l'injection de **millions de litres d'eau mélangée à des produits chimiques** dans le sous-sol, ce qui entraîne la **pollution des nappes phréatiques**, la **remobilisation de métaux lourds** et, dans certaines régions, une **augmentation des séismes induits** (US Geological Survey, 2022).

Les sables bitumineux, quant à eux, figurent parmi les sources d'énergie les plus polluantes de la planète : pour produire un seul baril de pétrole, il faut **jusqu'à quatre barils d'eau** et dégager **trois à quatre fois plus de CO_2** qu'un baril conventionnel. Les paysages du nord de l'Alberta, au Canada, portent déjà les cicatrices visibles de cette industrie : forêts rasées, bassins de décantation toxiques, et territoires autochtones dévastés.

Le pétrole non conventionnel s'impose ainsi comme une **fuite en avant technologique** : il prolonge temporairement la dépendance mondiale au pétrole, mais au prix d'un effondrement écologique et d'un rendement énergétique catastrophique.

Une impasse géopolitique et structurelle

Les promesses du non conventionnel ont aussi transformé les équilibres géopolitiques. Les États-Unis ont retrouvé une forme d'« indépendance énergétique », mais cette autonomie est **fragile** : elle repose sur des gisements à déplétion rapide, sur un financement instable, et sur une industrie vulnérable aux cycles de prix.
La Russie, le Canada, le Brésil et la Chine ont également investi dans des projets non conventionnels, mais leur coût élevé et leur impact environnemental limitent leur expansion.

À l'échelle mondiale, cette stratégie de recours aux hydrocarbures extrêmes **retarde la transition énergétique**. Au lieu de financer massivement les renouvelables, les gouvernements subventionnent encore l'extraction fossile. En 2023, les subventions mondiales aux énergies fossiles ont atteint **plus de 1 300 milliards de dollars**, un record historique (FMI, 2024).
Cette dépendance aux combustibles les plus coûteux, les plus polluants et les moins rentables nous enferme dans un **piège énergétique** : plus nous puisons dans ces réserves marginales, plus la société devient vulnérable à la volatilité économique et au dérèglement climatique.

Le mirage de l'abondance retrouvée

Le pétrole non conventionnel a donné au monde une illusion : celle d'un retour de l'abondance. Mais cette abondance est artificielle, entretenue par la dette, les subventions et le

désespoir d’un modèle incapable de se réinventer.
L’histoire retiendra sans doute cette période comme **le dernier souffle de l’ère pétrolière**, celui où, au lieu de préparer l’après, l’humanité a tenté d’extraire jusqu’à la dernière goutte, au prix d’une planète exsangue.

Le pétrole non conventionnel ne sauvera pas la civilisation du déclin énergétique ; il en **accélérera la chute** en retardant l’adaptation. Il symbolise la contradiction fondamentale de notre époque : nous avons les moyens technologiques d’imaginer un monde sans pétrole, mais nous persistons à investir dans son fantôme.

1.5 Les guerres de l’énergie et la nouvelle géopolitique du baril

Au cœur du XXIe siècle, le pétrole n’est plus seulement une ressource énergétique : c’est une **arme de pouvoir**, un **instrument de domination**, et un **déterminant stratégique** de la stabilité mondiale. Alors que les réserves s’épuisent et que la demande reste forte, la planète entre dans une ère de **guerres de l’énergie**, où les rivalités pour le contrôle des gisements, des routes maritimes et des technologies deviennent centrales. La géopolitique du pétrole, jadis fondée sur l’abondance et la dépendance mutuelle, se transforme désormais en un **jeu à somme nulle**, où chaque baril compte, chaque alliance se fragilise, et chaque embargo peut déclencher une onde de choc mondiale.

Du contrôle des gisements à la militarisation de l’énergie

Depuis la découverte des premiers gisements au Moyen-Orient au début du XXe siècle, la puissance pétrolière a façonné la géopolitique mondiale. Les États-Unis, l’Arabie saoudite et la Russie ont longtemps dominé ce triangle énergétique, structurant l’ordre international autour du pétrole bon marché. Mais avec la raréfaction des réserves et l’épuisement des grands champs, la compétition s’est intensifiée.

Les **guerres du Golfe** (1990-1991, 2003), le **printemps arabe**, la **guerre en Libye** (2011) et plus récemment la **guerre en Ukraine** (2022-) ont toutes une composante énergétique majeure.

Derrière les discours politiques ou idéologiques se cache souvent un enjeu de **contrôle des flux pétroliers et gaziers**, des oléoducs, ou des routes d'approvisionnement stratégiques.

Le pétrole reste la **ressource stratégique absolue** : sans lui, les armées ne fonctionnent pas, les avions ne volent pas, les économies s'effondrent. C'est pourquoi les puissances se livrent aujourd'hui à une **reconquête militaire et diplomatique** des zones riches en hydrocarbures.
Les bases américaines dans le Golfe, la présence russe en Syrie, la montée en puissance de la Chine en Afrique et en mer de Chine méridionale répondent toutes à une même logique : **sécuriser l'accès à l'énergie dans un monde post-abondance**.

L'OPEP+, la Russie et la fragmentation du marché mondial

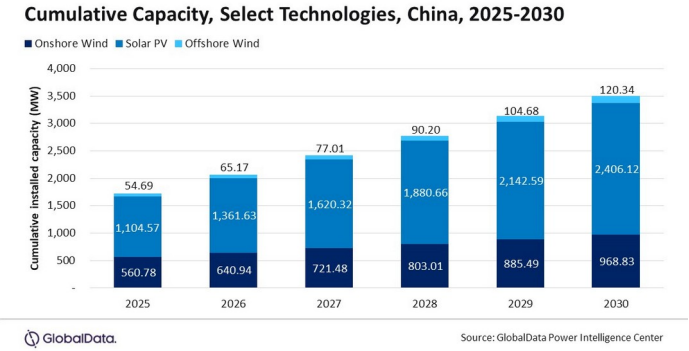
L'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP), fondée en 1960, a longtemps constitué un cartel régulateur du marché mondial. Mais depuis la création du partenariat **OPEP+** avec la Russie en 2016, la gouvernance énergétique s'est transformée en une **coalition d'intérêts stratégiques** visant à contrôler les prix et à peser sur les équilibres géopolitiques.
Cette alliance a renforcé l'influence de Moscou et de Riyad, tout en accentuant la dépendance de nombreux pays importateurs, notamment européens et asiatiques.

La guerre en Ukraine a provoqué une **reconfiguration brutale** du marché mondial de l'énergie. Les sanctions occidentales contre la Russie ont redessiné les flux commerciaux :

- L'Europe a réduit ses importations de pétrole et de gaz russes, au prix d'une flambée des prix et d'un recours temporaire au charbon.
- La Russie a redirigé ses exportations vers la Chine et l'Inde à prix réduit, consolidant un **axe énergétique eurasiatique**.
- Les États-Unis, redevenus exportateurs grâce au pétrole de schiste, ont utilisé leur capacité d'approvisionnement comme **outil diplomatique et économique**.

Ce basculement annonce la fin du marché pétrolier mondialisé homogène. On entre dans une ère de **marchés régionaux cloisonnés**, où les alliances énergétiques remplacent les règles du commerce libre. Le baril devient une monnaie géopolitique.

La montée de la Chine et la nouvelle diplomatie énergétique



Parmi les grands acteurs de cette nouvelle géopolitique du baril, la **Chine** occupe une place centrale. Premier importateur mondial de pétrole depuis 2017, Pékin a compris que sa sécurité énergétique est la condition de sa puissance économique et militaire.
Elle investit massivement dans la **diversification des sources** : exploration en mer de Chine méridionale, contrats de long terme avec la Russie et l'Iran, contrôle d'infrastructures portuaires via la « **Nouvelle route de la soie** », et développement de technologies de raffinage avancées.

La Chine mise également sur les **énergies de transition**, non par conviction écologique, mais par **stratégie de survie**. En dominant la production mondiale de panneaux solaires, de batteries et de métaux critiques, elle se positionne comme

l’empire énergétique du XXIe siècle, capable de contrôler à la fois le vieux monde fossile et le nouveau monde électrique.

Cette stratégie contraste avec celle de l’Europe, qui reste **fragmentée, dépendante et vulnérable**. Le continent, privé de ressources fossiles abondantes, est devenu un **terrain d’influence énergétique**, où les décisions de Washington, Moscou, Riyad ou Pékin déterminent les prix et la stabilité économique.

Les nouvelles zones de tension énergétique

La raréfaction du pétrole déplace aussi les zones de tension vers de nouveaux **théâtres énergétiques** :

- **L’Arctique**, dont la fonte accélérée des glaces ouvre des routes maritimes et rend exploitables d’immenses réserves d’hydrocarbures. La Russie, le Canada, les États-Unis et la Chine y rivalisent déjà pour le contrôle des routes et des ressources.
- **L’Afrique de l’Est et de l’Ouest**, où la Chine et la Turquie investissent massivement dans les infrastructures pétrolières et gazières, parfois au détriment de la stabilité politique locale.
- **L’Amérique latine**, notamment le Venezuela, redevenue convoitée pour ses réserves colossales mais politiquement instables.

- **La Méditerranée orientale**, où les découvertes gazières attisent les tensions entre Israël, la Turquie, l'Égypte et Chypre.

Ces conflits énergétiques ne se traduiront pas nécessairement par des guerres ouvertes, mais par une **multiplication des crises hybrides** : cyberattaques sur les pipelines, sabotages d'infrastructures, manipulations de l'offre et de la demande, instrumentalisation des flux énergétiques à des fins diplomatiques.

Vers un monde de l'énergie sous tension permanente

Le déclin du pétrole conventionnel et la fragmentation du marché énergétique annoncent une nouvelle ère de **turbulence géopolitique permanente**.
Les États n'affrontent plus seulement une crise énergétique, mais une **crise de souveraineté énergétique**. La dépendance au pétrole n'est plus un simple choix économique : c'est un **facteur de vulnérabilité stratégique**.

Dans les années 2040-2050, le monde pourrait se diviser en **blocs énergétiques rivaux** :

- Un bloc **eurasiatique**, centré sur la Russie, la Chine et l'Iran, dominant les flux terrestres.
- Un bloc **atlantique**, mené par les États-Unis et leurs alliés, misant sur le contrôle maritime et les technologies vertes.

- Un bloc **afro-méditerranéen émergent**, cherchant à tirer profit de ses ressources mais pris dans la rivalité des grandes puissances.

Le pétrole, jadis symbole d'unité et de croissance mondiale, devient le **catalyseur de la fragmentation planétaire**.
Et tandis que les États se battent pour les dernières gouttes, le véritable défi reste ignoré : inventer un modèle post-énergivore capable de garantir la paix et la stabilité dans un monde où l'abondance appartient au passé.

2. Le gaz et le charbon : un répit illusoire

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 101

2.1 Le mythe de l’abondance gazière

Au lendemain de la crise pétrolière et face aux premières alertes sur le pic pétrolier, de nombreux gouvernements et analystes ont présenté le gaz naturel comme une solution de transition, une énergie « propre », « abondante » et « bon marché ». Les États-Unis, pionniers du gaz de schiste, ont même proclamé au début des années 2010 une nouvelle ère d’« indépendance énergétique ». En Europe, plusieurs pays ont investi massivement dans les terminaux méthaniers, tandis que la Russie, le Qatar et l’Australie se sont positionnés comme les géants du gaz liquéfié (GNL).
Mais cette promesse d’abondance s’est avérée illusoire. Derrière l’euphorie initiale se cache une réalité géologique, économique et environnementale beaucoup plus fragile.

L’épuisement rapide des gisements de schiste

L’explosion de la production de gaz aux États-Unis — portée par la fracturation hydraulique — a donné l’illusion d’un réservoir quasi infini. Cependant, les études indépendantes montrent que les puits de gaz de schiste s’épuisent à un rythme extrêmement rapide : jusqu’à 70 % de la production est perdue après deux ans d’exploitation. Cette déplétion oblige à forer sans cesse de nouveaux puits, avec des coûts croissants et un rendement énergétique (EROI) en chute libre.
Rystad Energy et le U.S. Geological Survey (USGS) ont révisé à la baisse de nombreuses estimations de réserves techniquement récupérables dans les principaux bassins américains, notamment dans le Marcellus, l’Eagle Ford et le Permien. Les projections montrent que le pic de production du gaz de schiste américain pourrait être atteint avant 2030, voire plus tôt selon les scénarios pessimistes.
Autrement dit, ce qui devait être une « révolution énergétique durable » s’apparente davantage à un feu de paille alimenté par une bulle spéculative.

Un marché sous tension et des dépendances accrues

Sur le plan géopolitique, le gaz naturel est devenu une arme stratégique. La guerre en Ukraine a révélé l’extrême vulnérabilité de l’Europe, dépendante du gaz russe pour près de 40 % de sa consommation avant 2022. Malgré les efforts pour diversifier les approvisionnements et accroître les importations de GNL, les infrastructures de liquéfaction, de transport et de regazéification demeurent limitées.

Le marché du GNL, présenté comme la solution miracle, reste lui aussi soumis à une forte volatilité. Le prix spot du gaz sur les marchés asiatiques et européens a atteint des records en 2022-2023, multipliant par dix les coûts énergétiques de certaines industries. Les pays en développement, incapables de rivaliser sur les prix, se sont retrouvés exclus de ce marché, aggravant les inégalités énergétiques mondiales.

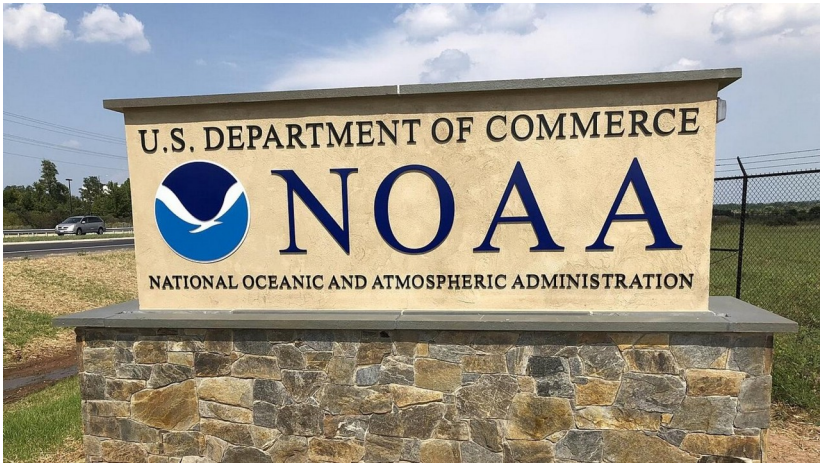
Un EROI en déclin et une rentabilité trompeuse

L'un des mythes persistants autour du gaz est sa supposée rentabilité. Or, une analyse approfondie du rendement énergétique net (Energy Return on Investment – EROI) révèle une tout autre image. Le gaz conventionnel avait autrefois un EROI supérieur à 20:1, mais le gaz de schiste se situe souvent entre 4:1 et 7:1.
Ce déclin du rendement énergétique signifie que la société consacre de plus en plus d'énergie et de capital simplement pour maintenir la production. À mesure que le coût des forages, du transport et du traitement augmente, les bénéfices nets diminuent. Plusieurs compagnies de gaz de schiste américaines ont accumulé des dettes colossales, certaines ayant même fait faillite après 2020 (comme Chesapeake Energy), lorsque les prix du gaz se sont effondrés.

Les impacts environnementaux et climatiques

Le gaz est souvent présenté comme une « énergie propre » en comparaison du charbon ou du pétrole. Pourtant, cette réputation ne résiste pas à l'examen scientifique. Les fuites de

méthane — un gaz à effet de serre 86 fois plus puissant que le CO_2 sur 20 ans — compromettent sérieusement le bilan climatique du gaz naturel.
Des études menées par la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) et par des chercheurs de l'Université Cornell estiment que les émissions fugitives de méthane liées à la production et au transport pourraient annuler les avantages climatiques du gaz par rapport au charbon.
De plus, la fracturation hydraulique nécessite d'immenses volumes d'eau et génère une pollution durable des nappes phréatiques, des sols et de l'air, suscitant des résistances croissantes dans les communautés locales.



Un futur énergétique sous contrainte

L’idée d’une abondance gazière durable est donc une illusion dangereuse. Le gaz peut offrir un sursis temporaire, mais il ne saurait remplacer le pétrole ni garantir la stabilité énergétique mondiale. La plupart des experts s’accordent pour dire que la dépendance croissante au gaz de schiste, au GNL et aux infrastructures associées retarde la transition vers les énergies réellement durables.

D’ici 2040-2050, le monde pourrait être confronté non pas à un âge d’or du gaz, mais à un double choc : une raréfaction des ressources extractibles et une crise climatique amplifiée par les émissions de méthane.

Le mythe de l’abondance gazière aura alors révélé sa véritable nature : celle d’une fuite en avant dans un modèle énergétique en fin de cycle.

2.2 L’instabilité des marchés énergétiques mondiaux

L’énergie a toujours été le moteur de la croissance économique mondiale. Pendant plus d’un siècle, le pétrole, le gaz et le charbon ont structuré les rapports de force entre nations, déterminé la prospérité des économies industrielles et soutenu l’expansion d’un modèle basé sur la consommation illimitée. Mais à partir des années 2020, ce modèle a commencé à se fissurer. Les marchés énergétiques, longtemps perçus comme stables et prévisibles, sont désormais soumis à des chocs à répétition, révélant la fragilité d’un système mondial fondé sur des ressources finies, des chaînes logistiques vulnérables et une financiarisation excessive des matières premières.

Des crises énergétiques à répétition

Depuis la pandémie de COVID-19, la volatilité est devenue la norme. En 2020, l'effondrement de la demande a fait plonger les prix du pétrole en territoire négatif pour la première fois de l'histoire, mettant à genoux des milliers de producteurs. Deux ans plus tard, la guerre en Ukraine a provoqué l'effet inverse : une flambée historique des prix du gaz, du pétrole et du charbon. En quelques mois, les coûts de l'énergie ont doublé, voire triplé en Europe, entraînant des fermetures d'usines, des faillites et une inflation mondiale.

Cette alternance de crises d'offre et de demande souligne la nature instable des marchés énergétiques mondiaux. L'interdépendance entre régions productrices et consommatrices, autrefois symbole de mondialisation

heureuse, s’est transformée en vulnérabilité structurelle. Le moindre incident géopolitique — une guerre, une cyberattaque, une grève portuaire ou une tempête — peut désormais déstabiliser les flux mondiaux.

La géopolitique du chaos énergétique

L’énergie n’est plus un simple produit d’échange : c’est une arme diplomatique et un levier de puissance. La Russie, l’Iran, le Venezuela, l’Arabie saoudite ou encore le Qatar utilisent leur production d’hydrocarbures pour influencer les rapports internationaux. En 2022-2023, la réduction des exportations de gaz russe vers l’Europe a illustré à quel point l’énergie peut être utilisée comme outil de coercition économique.
Les États-Unis, devenus premier exportateur mondial de GNL, s’en servent également comme instrument géostratégique, consolidant leur influence auprès des pays européens et asiatiques dépendants de leurs cargaisons.

Cette compétition pour le contrôle des ressources entraîne une fragmentation du marché mondial. L’ère du pétrole bon marché, fluide et globalisé cède la place à un marché segmenté, dominé par des alliances régionales (OPEP+, BRICS, ASEAN) et des contrats bilatéraux. Les tensions en mer de Chine méridionale, au Moyen-Orient et dans l’Arctique, où se trouvent encore d’importantes réserves inexploitées, laissent présager une multiplication des conflits pour l’accès à l’énergie.

La financiarisation du marché : spéculation et instabilité

Depuis les années 2000, les marchés de l’énergie sont devenus des espaces de spéculation financière. Les prix du pétrole et du gaz ne reflètent plus seulement la réalité physique de l’offre et de la demande, mais aussi les paris des investisseurs sur les marchés à terme. Les fonds spéculatifs, les banques d’investissement et les grands fonds souverains jouent désormais un rôle majeur dans la détermination des prix. Cette financiarisation accroît la volatilité : un événement géopolitique mineur, amplifié par des algorithmes de trading, peut provoquer des variations de prix démesurées. En 2022, le baril de Brent a connu des fluctuations quotidiennes de plus de 10 $, du jamais-vu depuis 2008.

Les entreprises industrielles, qui dépendent de prix stables pour planifier leurs activités, se retrouvent exposées à un risque permanent. Certaines raffineries, aciéries et usines d’engrais ont été contraintes de suspendre leur production face à l’explosion des coûts de l’énergie, entraînant une cascade de perturbations dans les chaînes d’approvisionnement mondiales.

Le déséquilibre entre Nord et Sud

Les pays riches disposent encore des moyens financiers pour absorber les chocs énergétiques en subventionnant les carburants, le chauffage ou l'électricité. Mais dans le Sud global, l'instabilité des marchés se traduit par des crises sociales. De nombreux pays importateurs nets d'énergie — du Pakistan au Ghana, en passant par le Bangladesh et le Sri Lanka — ont connu des pénuries, des coupures électriques massives et des mouvements de protestation.
Cette fracture énergétique accentue les inégalités entre nations : pendant que certains pays s'efforcent de sécuriser leurs approvisionnements en payant plus cher, d'autres sont simplement exclus du marché. L'énergie, bien vital par excellence, devient un facteur d'exclusion économique et de déstabilisation politique.

Vers un monde post-abondance

À l'horizon 2040-2050, la tendance est claire : la volatilité énergétique va s'amplifier. Le déclin des hydrocarbures conventionnels, combiné aux tensions géopolitiques et à la transition vers les renouvelables, entraînera une reconfiguration profonde des marchés. Les énergies intermittentes comme le solaire et l'éolien, bien qu'indispensables, nécessitent des métaux critiques dont la disponibilité est limitée, ajoutant une nouvelle couche d'instabilité.

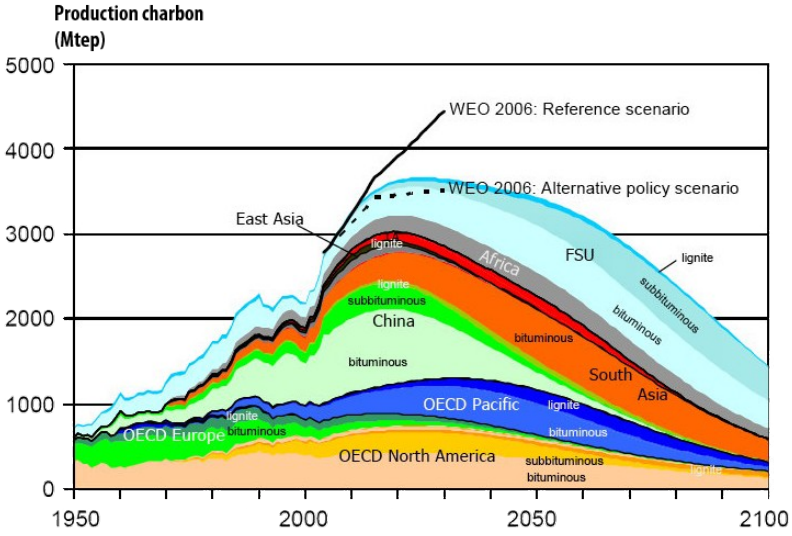
L'humanité entre dans une ère d'incertitude énergétique permanente, où les prix fluctuants, les crises de l'offre et les

rivalités géopolitiques deviennent la norme. Dans ce monde de rareté, l'énergie ne sera plus synonyme d'abondance, mais de pouvoir — et de fragilité.

114 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

2.3 Le retour du charbon et la crise climatique accélérée

Alors que le monde semblait tourner la page du charbon au profit du gaz naturel et des énergies renouvelables, les crises énergétiques successives des années 2020 ont bouleversé cette trajectoire. En pleine urgence climatique, cette énergie du XIX^{e} siècle connaît un retour paradoxal. La flambée des prix du gaz, les tensions géopolitiques, les retards dans le déploiement des renouvelables et la peur des pénuries ont conduit plusieurs grandes puissances à relancer leurs centrales au charbon.
Ce « retour du charbon » illustre à quel point la dépendance énergétique mondiale reste enracinée dans les combustibles fossiles — au détriment des engagements climatiques pris à Paris en 2015.



116 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Une résurgence mondiale inattendue

Depuis 2021, la production mondiale de charbon est repartie à la hausse. Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), elle a atteint un niveau record en 2023, dépassant les 8,5 milliards de tonnes. La Chine, l'Inde et l'Indonésie concentrent plus de 70 % de cette production, mais le phénomène touche également l'Europe et les États-Unis, contraints de réactiver des centrales mises en sommeil.
L'Allemagne, pourtant engagée dans la sortie du charbon, a rouvert plusieurs unités en 2022 pour compenser la baisse des importations de gaz russe. En Asie, la demande a explosé : la Chine construit encore plus de 100 GW de nouvelles capacités charbonnières, tandis que l'Inde dépend du charbon pour plus de 75 % de son électricité.

Les pays producteurs, notamment l'Australie, la Russie et l'Indonésie, profitent de cette demande pour renforcer leurs exportations. Le charbon redevient une arme géoéconomique, un pilier de sécurité énergétique pour les uns, et une bombe climatique pour les autres.

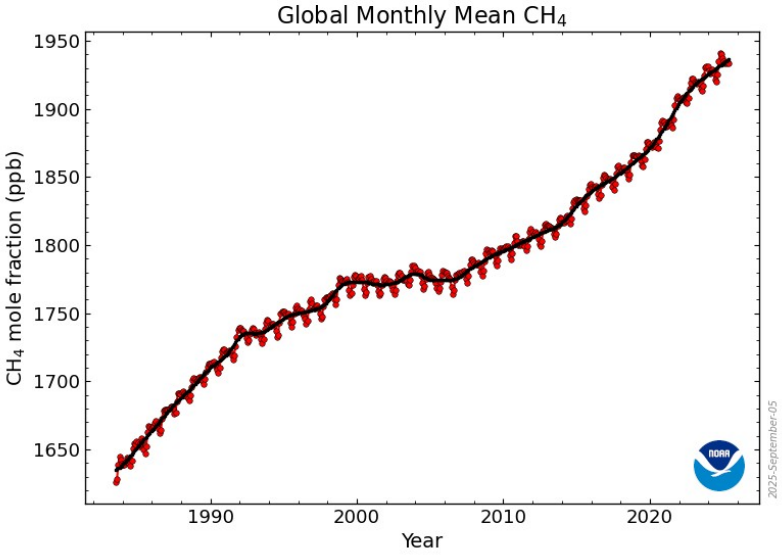
Le paradoxe énergétique de la transition

Le retour du charbon révèle le dilemme fondamental de la transition énergétique : comment réduire les émissions tout en assurant une énergie stable et abordable ? Les renouvelables, bien qu'en forte croissance, restent intermittentes et dépendent d'infrastructures encore insuffisantes pour remplacer les centrales thermiques.

Les États, soumis à la pression de la population et des entreprises, ont choisi la solution la plus rapide : relancer le charbon, abondant et techniquement maîtrisé.
Mais cette décision a un coût environnemental colossal. En 2023, les émissions de CO_2 issues du charbon ont atteint leur niveau le plus élevé de l'histoire moderne, représentant près de 40 % des émissions totales du secteur énergétique mondial (IEA, 2023).

Une bombe climatique à retardement

Le charbon est le combustible le plus carboné de tous : il émet en moyenne 2,3 kg de CO_2 par kWh produit, contre 0,9 pour le gaz naturel. À cela s'ajoutent les émissions de méthane issues des mines, souvent sous-estimées, mais responsables d'un puissant effet de serre à court terme.



Selon le *Global Methane Tracker 2024* de l'AIE, les fuites de méthane provenant des mines de charbon sont responsables de plus de 8 % des émissions mondiales de ce gaz, un chiffre en hausse malgré les promesses de réduction.

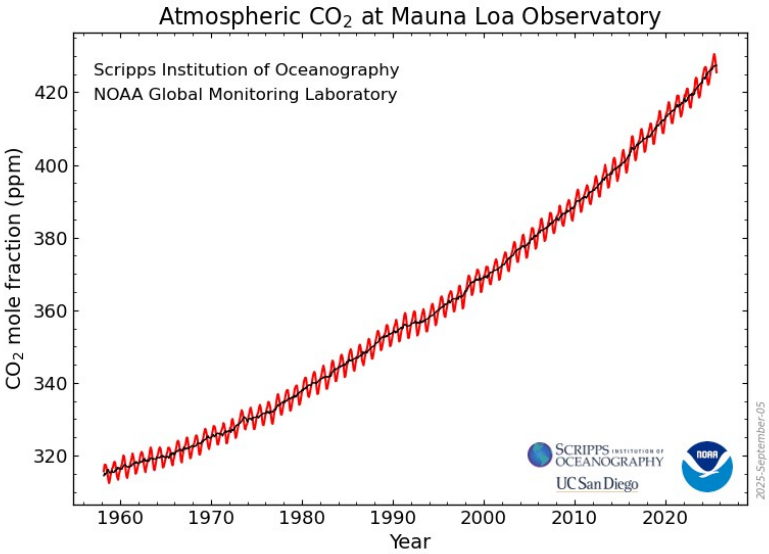
La combustion du charbon libère également des particules fines, du dioxyde de soufre et des oxydes d'azote, contribuant à la pollution atmosphérique et à la mortalité prématurée. L'OMS estime que plus de 3 millions de décès par an sont liés directement à la pollution issue du charbon, en particulier dans les grandes villes asiatiques.

L’effet domino sur le climat mondial

L’augmentation de la consommation charbonnière met en péril les objectifs de l’Accord de Paris, qui visent à limiter le réchauffement à 1,5 °C. Déjà, les trajectoires actuelles projettent un réchauffement de +2,6 à +2,9 °C d’ici 2100 si les politiques énergétiques ne changent pas radicalement.
Le retour massif du charbon accentue non seulement les émissions, mais aussi la dépendance technologique à un modèle obsolète. Les investissements nécessaires à la modernisation des centrales, aux infrastructures minières et au transport du charbon mobilisent des capitaux qui pourraient être consacrés aux énergies renouvelables et au stockage.
En somme, la planète finance sa propre dérive climatique.

Les limites des technologies de capture et stockage du carbone (CSC)

Face aux critiques, plusieurs gouvernements et compagnies énergétiques défendent l’idée d’un « charbon propre », grâce aux technologies de capture et de stockage du carbone (CSC). Pourtant, ces solutions demeurent largement expérimentales, coûteuses et inefficaces à grande échelle.
Selon le *Global CCS Institute* (2024), les capacités mondiales de capture du CO_2 ne représentent même pas 0,2 % des émissions totales annuelles. De plus, la plupart des projets servent à améliorer la récupération pétrolière (EOR), ce qui aggrave indirectement les émissions globales.
Le charbon « propre » reste donc un mythe industriel, un alibi pour prolonger un modèle dépassé.



Un verrouillage structurel dangereux

Le retour du charbon enferme le monde dans un piège : celui du *carbon lock-in*. Chaque nouvelle centrale construite aujourd'hui fonctionnera encore en 2050, perpétuant les émissions pour plusieurs décennies. Ce verrouillage structurel compromet les efforts de décarbonation et rend de plus en plus difficile la réalisation des objectifs climatiques.

Les nations qui misent sur le charbon pour assurer leur sécurité énergétique à court terme risquent de se retrouver, d'ici 2040, avec des infrastructures coûteuses, obsolètes et incompatibles avec la neutralité carbone.

Vers une bifurcation énergétique nécessaire

Pour éviter une spirale irréversible, la réduction du charbon doit devenir une priorité absolue. Cela implique non seulement la fermeture progressive des centrales existantes, mais aussi la fin des subventions publiques qui soutiennent leur exploitation. Les investissements massifs doivent se tourner vers le solaire, l'éolien, la géothermie et surtout le stockage de l'énergie, condition indispensable à la stabilité des réseaux. Les pays du Nord, historiquement responsables des émissions, ont également un devoir de soutien financier et technologique envers le Sud global pour lui éviter de répéter les erreurs du passé.

Sans un basculement rapide, la décennie 2030-2040 pourrait marquer non pas la fin du charbon, mais l'entrée dans une ère de chaos climatique et de déséquilibres économiques majeurs.

3. Les nouvelles guerres énergétiques et technologiques

3.1 Chine, Russie, Iran, Corée : puissances en recomposition

À mesure que le monde entre dans l'ère post-abondance énergétique, la structure des puissances mondiales se redéfinit profondément. La fin progressive du pétrole bon marché et accessible, annoncée par les récentes projections de Rystad Energy, bouleverse non seulement l'économie mondiale, mais aussi les équilibres militaires et géostratégiques qui en dépendaient. La Chine, la Russie, l'Iran et la Corée du Nord — quatre puissances contestataires de l'ordre occidental — voient leurs ambitions contraintes par une réalité énergétique nouvelle : celle d'un monde où la guerre et la domination ne peuvent plus reposer sur un moteur à essence.

La Chine : la superpuissance contrainte par la rareté énergétique

La Chine, moteur manufacturier du monde depuis les années 2000, a construit sa puissance sur une dépendance massive aux importations d'énergie fossile. En 2040, cette dépendance devient son talon d'Achille. Le pays, déjà premier importateur mondial de pétrole depuis 2017, se retrouve face à une contraction brutale de l'offre mondiale. Malgré d'importants investissements dans les énergies renouvelables et le nucléaire civil, les technologies chinoises demeurent fortement tributaires des métaux critiques — lithium, cobalt, nickel, terres rares — dont l'extraction atteint elle aussi des limites physiques et écologiques.

L’État chinois tente alors de militariser davantage ses routes commerciales et ses infrastructures énergétiques, consolidant sa présence en mer de Chine méridionale et dans les corridors terrestres de la « Nouvelle route de la soie ». Mais sans pétrole, la projection de puissance navale devient coûteuse : les flottes à propulsion conventionnelle nécessitent toujours des hydrocarbures, et la conversion nucléaire ou hydrogène n’est pas économiquement viable à grande échelle avant 2050. La Chine, malgré sa puissance technologique et numérique, se heurte à la matérialité du monde physique : pas d’énergie, pas de puissance.

La Russie : un empire du carbone à la dérive

Pour la Russie, la fin du pétrole et du gaz est synonyme d’un effondrement identitaire et économique. Après avoir bâti sa richesse et son influence géopolitique sur l’exportation des hydrocarbures, Moscou se retrouve dans une impasse historique. La baisse des réserves exploitables, conjuguée aux sanctions occidentales et à la stagnation technologique, prive le Kremlin de son principal levier de pouvoir.

Face à ce déclin, la Russie tente une fuite en avant militaire. Elle renforce son alliance avec la Chine et l’Iran, tout en accentuant la répression interne. Cependant, les capacités de projection de ses forces armées diminuent à mesure que les stocks de carburants s’amenuisent. Les chars, avions de chasse et systèmes logistiques nécessitent une énergie fossile désormais rare et coûteuse. Les ambitions impériales russes se heurtent donc à la limite thermodynamique : sans pétrole,

l’armée redevient statique, défensive, et incapable de soutenir de longs conflits conventionnels.

L’Iran : la revanche d’un État sanctionné

L’Iran, longtemps marginalisé par les sanctions internationales, se réinvente à l’aube de la fin du pétrole. Paradis des hydrocarbures pendant le XXe siècle, il tente de convertir sa rente énergétique en puissance régionale technologique. Téhéran investit massivement dans la recherche nucléaire, les drones autonomes et la cyberguerre — des domaines où la dépense énergétique est moindre mais où l’impact stratégique reste élevé.

En 2040, l’Iran devient un acteur majeur de la guerre de l’information, utilisant l’intelligence artificielle et la désinformation pour déstabiliser ses rivaux. Ses alliances avec la Russie et la Chine se resserrent, fondées sur la défiance commune envers l’Occident. Toutefois, les limites matérielles persistent : sans pétrole exportable, l’économie iranienne reste fragile. La puissance se déplace du champ pétrolier vers le champ numérique, mais cette transition ne permet pas d’assurer la stabilité interne d’un pays aux infrastructures vieillissantes et aux tensions sociales croissantes.

La Corée du Nord : le laboratoire de la résilience sous contrainte

La Corée du Nord représente un cas extrême : une économie autarcique, coupée des flux énergétiques mondiaux depuis des décennies. Paradoxalement, cette contrainte devient un

avantage relatif dans un monde en déclin énergétique. Habituée à la rareté, la Corée du Nord a développé une doctrine militaire de dissuasion à bas coût, centrée sur le nucléaire tactique et les missiles balistiques à courte portée.

Dans un contexte mondial où les carburants se raréfient, ce modèle devient la norme des puissances en transition : privilégier la menace stratégique au détriment de la mobilité militaire. La Corée du Nord montre que, dans un monde post-pétrole, la dissuasion ne passe plus par les chars ou les avions, mais par la peur et la technologie de destruction ciblée. Cependant, la survie de ce régime reste conditionnée à l'aide chinoise et à un équilibre fragile entre famine, répression et propagande.

Une recomposition sans victoire

En somme, ces quatre puissances forment le noyau d'un nouvel ordre énergétique et militaire où la guerre se transforme. Les affrontements directs deviennent rares, remplacés par des conflits hybrides : sabotages de pipelines, attaques cybernétiques sur les réseaux électriques, manipulations de marchés de matières premières, et désinformation de masse.

La fin du pétrole ne met pas fin aux ambitions, mais elle en change la nature. La guerre devient numérique, énergétique, climatique — et surtout asymétrique. Les superpuissances ne cherchent plus à conquérir des territoires, mais à contrôler des flux d'énergie et des données. Dans ce monde en recomposition, la puissance ne se mesure plus en barils ni en

ogives, mais en capacité à maintenir une société fonctionnelle dans la rareté.

3.2 Conflits hybrides et contrôle des ressources

Une mutation des conflits dans un monde de rareté

Au cours des prochaines décennies, les tensions géopolitiques ne se définiront plus principalement par l'opposition idéologique, mais par la lutte pour l'accès, le transport et la maîtrise des ressources énergétiques et technologiques. Alors que le pétrole, le gaz naturel et même les métaux critiques entrent dans une phase de raréfaction progressive, la compétition mondiale pour ces matières premières s'intensifie et transforme profondément la nature de la guerre. Les conflits du futur seront de plus en plus **hybrides** : ils mêleront affrontements militaires classiques, guerres de l'information, cyberattaques, manipulations économiques et contrôle des chaînes d'approvisionnement.

L'ère de l'abondance énergétique, qui a soutenu la croissance mondiale depuis la révolution industrielle, touche à sa fin. D'après les projections de Rystad Energy, la production mondiale de pétrole conventionnel pourrait décliner dès le milieu des années 2030, tandis que les investissements nécessaires à la transition énergétique restent insuffisants pour compenser ce recul. Dans ce contexte, les États chercheront à sécuriser les flux restants, à protéger leurs infrastructures critiques et à s'assurer une autonomie stratégique. Les grandes puissances – États-Unis, Chine, Inde, Union européenne et Russie – redéfinissent déjà leurs doctrines militaires et

diplomatiques en fonction de cette nouvelle réalité géoénergétique.

Les ressources comme champ de bataille invisible

La guerre hybride se distingue par la combinaison subtile de moyens militaires, économiques, technologiques et informationnels. Elle s'exprime par la manipulation des marchés, la désinformation sur les capacités de production, la perturbation des chaînes d'approvisionnement et la capture des infrastructures numériques. Le contrôle des ressources devient un instrument de coercition et de puissance.

Ainsi, la Russie a utilisé le gaz comme levier stratégique en Europe, provoquant un choc énergétique majeur après 2022. De son côté, la Chine a consolidé son hégémonie sur les terres rares, essentielles aux technologies vertes et aux semi-conducteurs, en contrôlant plus de 60 % de la production mondiale et plus de 80 % du raffinage. Dans le même temps, les États-Unis tentent de réindustrialiser leur territoire en relocalisant la production de batteries, de puces électroniques et de métaux critiques par le biais de l'Inflation Reduction Act et d'alliances stratégiques avec le Canada et l'Australie.

Ce jeu complexe ne repose plus sur des batailles visibles, mais sur des pressions économiques et des sabotages invisibles : attaques contre des pipelines, cyberattaques sur des réseaux électriques, campagnes de désinformation sur les marchés de l'énergie. Ces formes de confrontation, difficiles à attribuer et à qualifier juridiquement, affaiblissent les adversaires sans

déclencher de guerre ouverte. Elles incarnent la **nouvelle grammaire du pouvoir au XXIe siècle**, où l'information, la donnée et la ressource se confondent.

Le cyberespace comme champ de bataille énergétique

Les infrastructures énergétiques – raffineries, terminaux gaziers, barrages, réseaux électriques intelligents – sont désormais interconnectées et vulnérables. Le moindre dysfonctionnement peut avoir un effet domino mondial. Les cyberattaques contre Colonial Pipeline (États-Unis, 2021) ou contre le réseau électrique ukrainien ont montré combien la guerre énergétique pouvait s'étendre dans le cyberespace.

D'ici 2040, le contrôle des réseaux énergétiques numériques deviendra une priorité stratégique absolue. Les attaques ne viseront plus seulement à paralyser un adversaire, mais à modifier les flux de ressources en temps réel : détourner des cargaisons, manipuler les prix de l'énergie ou perturber la logistique maritime. Les grandes puissances développeront des **capacités offensives cyber-énergétiques**, combinant espionnage industriel, désinformation et sabotage ciblé. L'énergie deviendra ainsi le nerf invisible de la guerre hybride.

L'intelligence artificielle et la guerre des données

L'intelligence artificielle (IA) s'impose comme un autre champ de bataille crucial. Les États et les entreprises qui contrôleront les données énergétiques, les algorithmes de prévision et les modèles d'optimisation disposeront d'un avantage stratégique majeur. L'IA permettra de prévoir les fluctuations des marchés,

d’anticiper les tensions sur les matières premières et de manipuler les décisions économiques adverses.

Mais cette dépendance à la donnée ouvre aussi de nouvelles vulnérabilités : falsification des informations, manipulations algorithmiques, espionnage industriel par des IA adverses. À mesure que la numérisation des infrastructures s’accélère, les lignes entre sécurité énergétique et cybersécurité s’effacent. Le conflit pour le contrôle des ressources devient aussi un **conflit pour le contrôle de l’information**.

Les fronts périphériques : eau, sable et métaux critiques

Au-delà du pétrole, d’autres ressources stratégiques déclencheront de nouveaux types de conflits hybrides. L’eau douce, déjà source de tension au Proche-Orient et en Asie centrale, deviendra l’un des enjeux majeurs du XXIe siècle. Le réchauffement climatique réduit les débits des fleuves et accentue la désertification, entraînant une concurrence accrue entre États et régions.

Le sable, indispensable à la construction et à la fabrication du verre et des puces électroniques, fait l’objet d’une exploitation illégale massive. Sa pénurie pourrait provoquer des tensions régionales, notamment en Asie du Sud et en Afrique. Les métaux critiques – lithium, cobalt, nickel, cuivre, graphite – constituent un autre front, où se mêlent diplomatie, espionnage et influence. La militarisation de ces chaînes d’approvisionnement transforme le commerce mondial en un **échiquier de rivalités systémiques**.

Vers une économie de la coercition

La raréfaction des ressources et la dépendance aux infrastructures numériques annoncent une ère de **coercition géoéconomique**. Les sanctions, embargos, taxes carbone et restrictions à l'exportation remplacent souvent les armes traditionnelles. Chaque État cherche à rendre ses adversaires dépendants de ses ressources ou de ses technologies, tout en réduisant sa propre vulnérabilité.

Les alliances énergétiques se recomposent : l'Afrique, riche en minerais, devient un terrain de compétition entre puissances ; l'Arctique, désormais navigable en été, attire les ambitions russes, chinoises et occidentales ; le Moyen-Orient, longtemps pivot du pétrole, investit dans l'hydrogène et les infrastructures numériques pour conserver un rôle central. Ces dynamiques complexes laissent présager un monde **fragmenté**, où la guerre ne se déclare plus, mais se diffuse dans les flux énergétiques, financiers et numériques.

Une paix fragile à l'ère de la rareté

En 2040-2050, la paix mondiale dépendra moins d'accords diplomatiques que de la capacité des nations à gérer la rareté sans sombrer dans le chaos. Les guerres hybrides, par leur nature insidieuse et continue, risquent d'éroder la confiance entre États, d'alimenter la désinformation et de saper la stabilité économique. Le contrôle des ressources – qu'il s'agisse du pétrole, des données ou de l'eau – deviendra l'enjeu central des rapports de force.

La fin de l’abondance énergétique ouvre ainsi une période de vulnérabilité systémique. Plus qu’une crise de ressources, c’est une **crise de civilisation** : celle d’un monde qui, après avoir cru à l’infini de la croissance, doit désormais apprendre à vivre dans les limites physiques et technologiques de la planète.

138 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

3.3 L’énergie comme arme géopolitique

De la puissance énergétique à la puissance coercitive

Depuis le début du XXIe siècle, l’énergie n’est plus seulement un moteur de croissance : elle est devenue un instrument de puissance, de dissuasion et de coercition. Dans un monde où les ressources fossiles se raréfient et où la transition énergétique peine à suivre le rythme, les nations dotées de ressources énergétiques abondantes disposent d’un levier d’influence sans équivalent. Le pétrole, le gaz et, de plus en plus, l’électricité et les métaux stratégiques, sont devenus des outils géopolitiques à part entière.

La Russie, l’Arabie saoudite, l’Iran ou encore le Qatar ont compris depuis longtemps qu’un baril de pétrole ou un mètre cube de gaz peut peser plus lourd qu’une division militaire. L’énergie permet de façonner des dépendances structurelles, d’infléchir les décisions politiques d’États clients et d’imposer des compromis économiques sous la menace d’une rupture d’approvisionnement. Cette arme n’est pas nouvelle — elle fut utilisée dès les années 1970 par les pays de l’OPEP — mais son efficacité est aujourd’hui décuplée par l’interconnexion mondiale des marchés et la fragilité des chaînes logistiques.

Les stratégies de dépendance et de chantage énergétique

Les crises énergétiques récentes ont montré que la dépendance énergétique est une forme de vulnérabilité stratégique. L’Europe, dépendante du gaz russe jusqu’en 2022, a subi un

choc sans précédent lorsque Moscou a réduit ses livraisons en réponse aux sanctions occidentales. Cette guerre du gaz a révélé combien les infrastructures – gazoducs, terminaux GNL, câbles sous-marins – peuvent devenir des cibles ou des leviers d'influence.

De même, la Chine, en dominant la production et le raffinage des terres rares, a bâti une **dissuasion technologique**. En 2010, elle avait déjà restreint ses exportations vers le Japon ; demain, elle pourrait user du même levier pour influencer les politiques occidentales sur Taïwan ou sur les droits de propriété intellectuelle. L'énergie, sous toutes ses formes, devient donc un outil de négociation, de pression, voire de sanction.

Cette logique s'étend aussi aux alliances : les pays du Golfe diversifient leurs partenariats vers l'Asie, la Russie renforce ses liens avec la Chine et l'Inde, tandis que l'Union européenne tente de bâtir un « club des consommateurs » autour de normes vertes et de contrats d'approvisionnement long terme. Le monde énergétique se **fragmentera en blocs**, chacun cherchant à sécuriser ses sources et à limiter sa dépendance.

Les nouvelles routes de l'énergie

La géographie mondiale de l'énergie se redessine. Les routes du pétrole, autrefois centrées sur le Moyen-Orient et l'Atlantique, se déplacent vers l'Arctique, l'Afrique et l'océan Indien. Les tensions autour des détroits – Ormuz, Malacca, Bab el-Mandeb – rappellent combien la logistique énergétique reste vulnérable. Dans un monde polarisé, ces points d'étranglement

deviennent des **armes silencieuses** : leur simple blocage peut provoquer des flambées de prix et déstabiliser des économies entières.

Le réchauffement climatique, en rendant la navigation arctique plus accessible, ouvre de nouveaux couloirs maritimes que la Russie cherche à contrôler. Cette militarisation des routes énergétiques, conjuguée à la course aux gisements polaires, annonce de nouvelles rivalités dans des zones jusque-là pacifiques. L'Arctique pourrait devenir, à l'horizon 2040, **le nouveau Golfe Persique du Nord**.

Parallèlement, la transition vers les énergies renouvelables engendre de nouvelles routes stratégiques : câbles électriques sous-marins, corridors d'hydrogène, réseaux de stockage et d'interconnexions numériques. Ces infrastructures, bien que « vertes », n'échappent pas à la logique de puissance. Celui qui contrôle le réseau contrôle la dépendance.

L'électrification comme nouvel instrument de domination

À mesure que les sociétés basculent vers l'électricité comme énergie pivot, le contrôle des réseaux et des matériaux nécessaires à leur fonctionnement devient central. Le cuivre, le lithium, le cobalt et le nickel remplacent peu à peu le pétrole et le gaz dans les rivalités internationales. L'énergie électrique, parce qu'elle dépend d'infrastructures centralisées et de métaux rares, ouvre de nouvelles formes de **domination technologique**.

Les pays capables de produire à grande échelle des batteries, des turbines et des panneaux solaires – Chine, Corée du Sud, Inde – exercent déjà une influence déterminante sur la transition mondiale. En parallèle, les géants du numérique (Google, Amazon, Tencent, Microsoft) s'imposent comme acteurs énergétiques à part entière : leurs centres de données consomment des quantités massives d'électricité, et leur capacité à capter ou redistribuer cette énergie en fait des **nouveaux seigneurs du réseau**.

Cette hybridation entre énergie et technologie transforme la géopolitique classique : la suprématie militaire ne suffit plus, elle doit s'accompagner d'une **suprématie énergétique et algorithmique**.

L'arme du prix et de la spéculation

Le marché de l'énergie, hautement financiarisé, est devenu un champ de bataille invisible. Les puissances et les grands fonds souverains utilisent la spéculation sur les prix du pétrole, du gaz et de l'électricité pour déstabiliser ou enrichir des États concurrents. Les fluctuations brutales, souvent alimentées par des campagnes de désinformation ou par des cyberattaques ciblées sur des installations, peuvent modifier les équilibres économiques mondiaux en quelques semaines.

Cette arme du prix est d'autant plus redoutable qu'elle s'appuie sur la psychologie des marchés. La simple annonce d'une restriction d'exportation, d'une attaque sur un terminal pétrolier ou d'un incident climatique majeur suffit à déclencher

une panique énergétique. Dans les années 2040, alors que les ressources seront plus rares et les réserves stratégiques plus faibles, cette **volatilité géopolitique** deviendra un outil de guerre à part entière.

Vers une diplomatie énergétique du contrôle

Dans ce nouveau paradigme, la diplomatie énergétique devient un pilier central de la politique étrangère. Les États cherchent à conclure des partenariats de long terme, à investir dans les ressources étrangères et à contrôler les infrastructures de transit. Les banques multilatérales, les compagnies pétrolières nationales et les fonds d'investissement publics deviennent des instruments diplomatiques au service de la puissance.

L'Afrique, par exemple, concentre une grande partie des métaux nécessaires à la transition énergétique. Sa position en fera un **théâtre de rivalités croisées** entre puissances, chacune cherchant à sécuriser des gisements ou des contrats d'exclusivité. Les pays du Maghreb, riches en potentiel solaire et en gaz, voient leurs négociations énergétiques devenir des enjeux de sécurité continentale.

Dans le même temps, de nouvelles alliances émergent autour des ressources « propres » : partenariats pour l'hydrogène vert entre l'Europe et l'Afrique, corridor solaire indo-arabe, coopération américano-canadienne sur les métaux critiques. L'énergie devient la **colonne vertébrale des relations internationales**.

L’arme énergétique : entre dissuasion et chaos

L’énergie, utilisée comme arme, n’a pas les effets immédiats d’un missile, mais ses conséquences sont plus profondes. Elle agit sur le temps long, érode la stabilité économique, modifie les alliances et provoque des migrations massives. Les guerres énergétiques du futur seront diffuses, prolongées, et difficilement réversibles.

Cette stratégie de dissuasion par la rareté conduit à un monde où la sécurité énergétique prime sur la coopération. Chacun tente de constituer des stocks, de verrouiller des contrats, de nationaliser ses ressources. Cette logique d’accumulation, si elle n’est pas régulée, risque de déboucher sur un **mercantilisme énergétique global**, où la solidarité internationale s’effrite au profit d’une compétition féroce.

Conclusion : un monde sous tension permanente

Entre 2040 et 2050, la géopolitique de l’énergie ne reposera plus sur l’abondance, mais sur la rareté. Le pétrole et le gaz, déclinants, resteront des leviers de pouvoir ; les métaux critiques et l’électricité deviendront les nouveaux instruments de domination. Les nations capables de contrôler les flux, les prix et les infrastructures énergétiques imposeront leur volonté au reste du monde.

L’arme énergétique n’est pas seulement une menace : elle est le miroir d’une époque où la survie économique et climatique se confondent. Le défi pour l’humanité sera d’éviter que la fin de

l’abondance ne se transforme en **début d’un siècle de coercition permanente**.

Partie II – L’eau, le sable et l’hydroélectricité : les tensions hydriques du futur

4. L’or bleu en voie d’épuisement

L’eau, fondement de la civilisation menacée

Depuis les origines de l’humanité, les civilisations se sont développées autour des fleuves, des deltas et des nappes phréatiques. L’eau douce, ressource vitale et non substituable, est à la fois un bien commun et un pilier de la stabilité économique mondiale. Pourtant, au XXIe siècle, cet « or bleu » entre dans une phase critique. Selon les projections hydrologiques les plus récentes, la demande mondiale en eau douce pourrait dépasser de 40 % les ressources disponibles d’ici 2050, sous l’effet combiné de la croissance démographique, de l’urbanisation, de la pollution et du changement climatique.

Les sécheresses se multiplient sur tous les continents, tandis que les mégapoles consomment des volumes d’eau incompatibles avec leurs réserves naturelles. L’agriculture intensive, qui représente environ 70 % de la consommation mondiale d’eau, accentue cette pression. Dans un monde où le pétrole s’épuise, l’eau devient **le bien stratégique par excellence**, celui qui conditionnera la survie des sociétés humaines, la sécurité alimentaire et la stabilité politique.

Le cycle hydrologique bouleversé par le réchauffement

Le changement climatique ne se contente pas de modifier les températures : il dérègle profondément le cycle de l’eau. Les précipitations deviennent plus irrégulières, les sécheresses plus

longues et les épisodes extrêmes plus violents. Les glaciers de l'Himalaya, des Andes et des Alpes, qui alimentent les grands fleuves du monde, fondent à un rythme alarmant, menaçant l'approvisionnement de plus d'un milliard d'êtres humains.

Dans les régions arides comme le Sahel, le Moyen-Orient ou l'ouest américain, les nappes phréatiques s'effondrent sous l'effet du pompage excessif. Le lac Tchad, autrefois source de vie pour des millions de personnes, a perdu près de 90 % de sa superficie depuis les années 1960. Le fleuve Colorado ne parvient plus à atteindre la mer, tandis que le Tigre et l'Euphrate voient leurs débits chuter à cause des barrages successifs. Ce déséquilibre hydrologique alimente déjà des **mouvements de population**, des tensions frontalières et des crises agricoles chroniques.

Les guerres de l'eau : un horizon de plus en plus proche

Si le XXe siècle fut celui du pétrole, le XXIe pourrait bien être celui de l'eau. Les tensions autour des bassins fluviaux transfrontaliers se multiplient. L'Égypte et l'Éthiopie s'opposent au sujet du barrage de la Renaissance sur le Nil Bleu ; la Turquie contrôle une partie des eaux de la Mésopotamie grâce à son réseau de barrages ; l'Inde et le Pakistan se disputent les affluents de l'Indus ; la Chine, quant à elle, a entrepris de gigantesques transferts d'eau du sud vers le nord, tout en construisant des infrastructures susceptibles de modifier les débits du Mékong et du Brahmapoutre.

Ces tensions ne relèvent plus seulement de la diplomatie : elles s’inscrivent dans une **logique de sécurité nationale**. L’eau devient une arme de pression, un moyen de contrôler les populations et de conditionner les relations régionales. La maîtrise des sources et des barrages équivaut à la maîtrise du territoire lui-même. Les armées intègrent désormais les paramètres hydriques dans leurs doctrines stratégiques, anticipant des conflits de basse intensité autour des infrastructures d’approvisionnement.

La privatisation et la marchandisation de l’eau

Parallèlement, un autre phénomène s’impose : la transformation de l’eau en marchandise. Sous l’effet de la rareté, l’accès à l’eau devient un marché, où les multinationales et les fonds d’investissement spéculent sur les droits d’exploitation et les infrastructures de distribution. Dans plusieurs pays, l’eau est cotée en bourse, ouvrant la voie à une financiarisation d’une ressource vitale.

Cette tendance soulève des enjeux éthiques et sociaux majeurs. Lorsque l’eau devient un produit financier, elle échappe à la logique du bien commun. Dans certaines mégapoles du Sud, les populations les plus pauvres paient déjà l’eau plusieurs fois plus cher que les classes aisées, faute d’infrastructures publiques. À l’horizon 2050, cette **fracture hydrique** pourrait devenir un facteur majeur d’instabilité et d’injustice planétaire, opposant les États capables de sécuriser leurs réserves à ceux condamnés à dépendre de la charité internationale ou de la technologie étrangère.

Le dessalement : une solution limitée

Face à la raréfaction de l'eau douce, le dessalement de l'eau de mer apparaît comme une solution technique séduisante. Des pays comme Israël, l'Arabie saoudite, les Émirats arabes unis ou l'Australie ont massivement investi dans ces technologies. Cependant, cette approche repose sur une **dépendance énergétique considérable** : produire un mètre cube d'eau dessalée exige d'importantes quantités d'électricité. Dans un monde en pénurie d'énergie et confronté aux contraintes climatiques, cette solution ne peut être généralisée à grande échelle.

De plus, le rejet des saumures concentrées dans les écosystèmes marins perturbe la biodiversité et accentue la pollution côtière. Le dessalement est donc une stratégie de survie pour les régions riches en énergie fossile ou solaire, mais une impasse pour les pays pauvres ou enclavés. À long terme, seule une **gestion durable et concertée** des ressources hydriques peut garantir la stabilité mondiale.

L'hydroélectricité sous tension

L'eau ne sert pas seulement à nourrir et à irriguer : elle alimente aussi les barrages hydroélectriques, piliers de la transition énergétique. Or, la sécheresse chronique et la fonte des glaciers menacent directement cette production. En Europe, en Chine, au Brésil et en Amérique du Nord, la baisse des niveaux d'eau réduit la capacité des centrales. Les années 2030-2040 pourraient voir une **crise mondiale de**

l’hydroélectricité, aggravant la pénurie énergétique déjà amorcée par le déclin des combustibles fossiles.

Dans les Andes ou en Afrique équatoriale, la construction de grands barrages devient un enjeu géopolitique autant qu’écologique. Certains projets, financés par des puissances étrangères, provoquent des déplacements massifs de populations et des désastres environnementaux. L’hydroélectricité, jadis symbole de modernité et de prospérité, se transforme en **vecteur de conflit** et en source de dépendance énergétique.

Le contrôle de l’eau : un nouvel ordre géopolitique

L’eau devient la clé de lecture d’un nouvel ordre mondial. Les États qui disposent de réserves abondantes – Canada, Norvège, Brésil, Russie – verront leur influence croître. À l’inverse, les régions méditerranéennes, sahéliennes et asiatiques subiront des tensions chroniques. La gestion des bassins fluviaux transfrontaliers nécessitera des accords internationaux complexes, mais la méfiance croissante entre puissances limitera les possibilités de coopération.

Certaines nations envisagent déjà d’exporter de l’eau sous forme liquide ou gelée, tandis que d’autres rêvent de pipelines hydriques transcontinentaux. Ces projets, autrefois utopiques, deviendront peut-être une réalité dans un monde où l’eau sera aussi précieuse que le pétrole. Le contrôle de cette ressource conditionnera la **hiérarchie des puissances au milieu du siècle**.

Une crise civilisationnelle silencieuse

L’épuisement de l’eau douce n’est pas une simple question environnementale : c’est une crise existentielle. L’eau irrigue les cultures, refroidit les centrales, nettoie les villes, alimente les industries et soutient les écosystèmes. Sa raréfaction menace la stabilité alimentaire, énergétique et sanitaire mondiale.

Dans les décennies à venir, l’humanité devra repenser sa relation à l’eau : abandonner la logique de consommation infinie, restaurer les bassins versants, protéger les zones humides et investir massivement dans le recyclage des eaux usées. Faute de quoi, l’eau deviendra le **nouvel or noir**, source de richesse pour quelques-uns et de misère pour la majorité.

156 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

4.1 Aquifères en déclin et mégasécheresses

Les souterrains de la vie : une ressource invisible et menacée

Sous nos pieds s'étendent des réserves d'eau colossales, accumulées depuis des millénaires dans les couches profondes du sol : les aquifères. Ces réservoirs naturels constituent la moitié des ressources en eau douce de l'humanité et assurent près de 40 % de l'irrigation mondiale. Ils sont le **patrimoine hydrique invisible** de la planète, une banque d'eau souterraine qui a permis à des civilisations entières de prospérer dans les régions arides.

Mais cette réserve vitale s'épuise à un rythme alarmant. Dans la plupart des régions agricoles intensives, les prélèvements dépassent largement le taux de renouvellement naturel. Les aquifères se vident, les nappes phréatiques s'effondrent, et les sols s'affaissent. Ce phénomène, discret mais inexorable, est l'un des plus grands défis environnementaux du XXIe siècle. Contrairement aux rivières ou aux lacs, ces eaux fossiles ne se reconstituent pas à l'échelle humaine : une fois épuisées, elles disparaissent pour des siècles.

Le déclin silencieux des grandes nappes du monde

Le déclin des aquifères est désormais mondial. La nappe de l'Ogallala, qui s'étend sous huit États du centre des États-Unis, a perdu jusqu'à 60 % de son volume depuis les années 1950, mettant en péril la production céréalière américaine. En Inde, le

bassin indo-gangétique, l'un des plus vastes systèmes aquifères de la planète, est pompé à des niveaux tels que certaines zones rurales voient déjà leurs puits se tarir. En Chine du Nord, le niveau des nappes souterraines s'abaisse de plus d'un mètre par an dans certaines régions agricoles.

En Afrique du Nord, les aquifères du Sahara, comme le système du Nubien et celui du Continental Intercalaire, sont exploités pour irriguer les déserts et alimenter les villes côtières. Ces nappes fossiles, formées à l'époque glaciaire, ne se renouvellent plus : leur utilisation revient à **miner le passé hydrique de la Terre**. Dans le bassin de Mexico, l'extraction incontrôlée d'eau souterraine a provoqué un affaissement du sol de plus de 10 mètres en un siècle. Ces exemples illustrent une tendance universelle : la surexploitation des nappes phréatiques est devenue le symbole d'un modèle agricole et industriel insoutenable.

Les mégasécheresses : un nouvel âge de l'aridité

À cette crise souterraine s'ajoute une autre menace : celle des **mégasécheresses**, épisodes d'aridité prolongée qui peuvent durer plusieurs décennies. Des études paléoclimatiques révèlent que de telles sécheresses ont déjà frappé la planète dans le passé, mais le réchauffement global les rend désormais plus fréquentes, plus étendues et plus intenses.

En Amérique du Nord, le sud-ouest des États-Unis connaît depuis les années 2000 la sécheresse la plus grave depuis 1 200 ans. Le Colorado et le lac Mead atteignent des niveaux

historiquement bas, mettant en péril l'approvisionnement en eau de plus de 40 millions de personnes. En Amérique du Sud, le bassin du Paraná connaît un effondrement hydrologique qui affecte à la fois l'agriculture, l'hydroélectricité et le transport fluvial. En Afrique australe, la mégasécheresse de 2015-2023 a mis en danger des capitales comme Le Cap, proche du « Day Zero », le jour où les robinets devaient cesser de couler.

Ces sécheresses extrêmes ne sont plus des anomalies : elles deviennent des **régimes climatiques permanents** dans certaines régions. Leur impact cumulé – désertification, baisse des rendements agricoles, pénuries alimentaires, migrations forcées – redessine déjà la carte géopolitique mondiale.

Effondrement hydrique et instabilité sociale

La raréfaction de l'eau souterraine entraîne des conséquences sociales et économiques profondes. Lorsque les puits s'assèchent, les agriculteurs se ruinent, les zones rurales se vident et les tensions s'exacerbent entre régions. Dans certaines zones d'Inde et du Pakistan, les affrontements pour l'accès aux puits deviennent quasi quotidiens. En Iran, la dégradation des nappes phréatiques a déclenché des mouvements de protestation dans plusieurs provinces, mêlant colère sociale et désespoir écologique.

À l'échelle planétaire, la baisse des aquifères menace la sécurité alimentaire mondiale. Les grandes plaines irriguées d'Asie, d'Amérique du Nord et du Moyen-Orient assurent une part essentielle de la production de riz, de blé et de maïs. Si ces

aquifères venaient à se tarir, le monde entrerait dans une **ère de famine structurelle**, où la volatilité des prix alimentaires pourrait devenir permanente.

Le cercle vicieux de la technologie et de la dépendance

Face à l'épuisement des nappes, les États recourent à la technologie : forages plus profonds, pompes plus puissantes, surveillance satellitaire. Mais cette fuite en avant ne fait qu'aggraver la dépendance. Plus on pompe, plus l'eau devient rare et coûteuse ; plus on cherche à la compenser par des technologies de dessalement ou de transfert interbassins, plus on consomme d'énergie. L'eau et l'énergie se rejoignent ainsi dans un **piège de rareté mutuelle**.

Cette dynamique fragilise les économies émergentes, qui n'ont ni les moyens techniques ni les infrastructures pour gérer durablement leurs aquifères. Dans de nombreux pays, l'absence de régulation entraîne une privatisation de fait : les grandes exploitations accaparent les nappes, laissant les petits producteurs et les populations rurales sans ressources. Le capital hydrique devient un **instrument d'inégalité sociale**, au même titre que la terre ou le pétrole.

Les mégasécheresses comme catalyseur géopolitique

Les mégasécheresses ne sont pas seulement des catastrophes naturelles : elles deviennent des **détonateurs politiques**. Elles fragilisent les régimes, exacerbent les rivalités régionales et provoquent des migrations massives. En Afrique, la désertification du Sahel pousse des millions de personnes vers

les côtes ou vers l'Europe. En Amérique latine, la crise de l'eau alimente l'instabilité économique et les tensions frontalières. En Asie centrale, la disparition de la mer d'Aral reste l'un des symboles les plus marquants de la mauvaise gestion hydrique et de ses conséquences irréversibles.

Dans les années 2040, ces phénomènes risquent de s'amplifier. Les puissances hydriques – celles qui disposent encore de ressources souterraines abondantes – pourraient être tentées d'imposer des **zones d'influence aquifères**, en échange d'accès préférentiels à l'eau. L'« hydro-diplomatie » deviendra alors un instrument de contrôle géopolitique comparable à celui du gaz ou du pétrole au XXe siècle.

Préserver l'eau souterraine : un impératif de civilisation

La crise des aquifères et la multiplication des mégasécheresses annoncent un basculement irréversible si des politiques de gestion durable ne sont pas mises en œuvre. Il ne s'agit plus seulement de réduire la consommation, mais de **réinventer la culture de l'eau**. Cela implique la recharge artificielle des nappes, la récupération des eaux de pluie, la réduction des pertes agricoles et la limitation des forages industriels.

À long terme, la résilience hydrique dépendra de la coopération entre États. Sans gouvernance transfrontalière, les aquifères partagés – comme ceux du Sahara, du bassin du Gange ou du bassin du Niger – risquent de devenir des foyers de tension. Préserver l'eau souterraine, c'est préserver la stabilité du

monde à venir. Car lorsque les nappes s’épuiseront, **aucune technologie ne pourra recréer la pluie du passé**.

164 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

4.2 L’accès à l’eau potable : une fracture mondiale

Au XXIe siècle, l’eau potable est devenue le miroir le plus cru des inégalités planétaires. Bien qu’elle soit un droit humain reconnu par les Nations unies depuis 2010, près d’un tiers de la population mondiale n’a toujours pas accès à une eau salubre et disponible en continu. L’eau, élément le plus simple et le plus vital, est en train de se transformer en **marchandise rare et géopolitiquement sensible**. Son accès conditionne la santé, la sécurité alimentaire, la stabilité politique et même la dignité humaine.

La fracture hydrique n’est pas seulement une question d’abondance naturelle : elle est aussi sociale, économique et politique. Alors que les pays du Nord disposent de réseaux d’eau potable fiables et de systèmes d’assainissement performants, de vastes régions du Sud global font face à des pénuries chroniques, aggravées par la croissance démographique, la pollution et le changement climatique. L’eau devient le **symbole des déséquilibres structurels** d’un monde à deux vitesses.

Urbanisation, croissance et pression sur les réseaux

L’urbanisation rapide des pays en développement a transformé la demande en eau potable. Les mégapoles d’Asie, d’Afrique et d’Amérique latine — Lagos, Karachi, Jakarta, Mexico, São Paulo — voient leur population croître plus vite que leurs infrastructures. Les réseaux d’eau, souvent hérités de l’époque

coloniale ou sous-financés, ne peuvent plus répondre aux besoins de millions d'habitants.

Dans les périphéries urbaines, les habitants doivent acheter de l'eau à des revendeurs privés à des prix exorbitants, parfois dix fois supérieurs à ceux payés par les ménages connectés au réseau. Cette **économie informelle de la soif** consacre une inégalité paradoxale : les plus pauvres paient plus cher pour une eau souvent de qualité inférieure. À l'horizon 2050, près de 70 % de la population mondiale vivra dans des villes, et la question de la gestion urbaine de l'eau deviendra l'un des plus grands défis de gouvernance mondiale.

L'eau contaminée : la première cause de mortalité invisible

Le manque d'accès à une eau potable saine ne se traduit pas seulement par des pénuries visibles, mais aussi par une crise sanitaire silencieuse. Dans les régions rurales d'Afrique subsaharienne, d'Asie du Sud et d'Amérique latine, l'eau consommée provient encore majoritairement de sources non protégées : puits ouverts, rivières, citernes polluées. Cette eau est souvent contaminée par des agents pathogènes, des métaux lourds, des nitrates ou des résidus de pesticides.

Chaque année, plus de deux millions de personnes, principalement des enfants de moins de cinq ans, meurent de maladies hydriques comme la dysenterie, le choléra ou la typhoïde. À cela s'ajoutent les maladies chroniques liées à la contamination chimique, notamment par l'arsenic ou le fluor dans les eaux souterraines d'Asie du Sud. Ces pathologies,

invisibles dans les statistiques globales, constituent une **pandémie permanente de l'eau sale**.

La pollution industrielle et agricole aggrave encore la situation. Dans certains pays, les nappes phréatiques sont si contaminées que même les usines de traitement ne peuvent plus rendre l'eau potable sans technologies coûteuses. Le cycle hydrique naturel — pluie, infiltration, ruissellement — devient un cycle de contamination, où chaque goutte transporte des traces de l'activité humaine.

Les réfugiés de la soif : migrations et instabilités sociales

L'accès à l'eau potable n'est pas seulement une question de santé publique, c'est aussi un **facteur déterminant de stabilité politique et migratoire**. Dans les régions arides du Sahel, de la Corne de l'Afrique ou du Moyen-Orient, les sécheresses récurrentes forcent les populations rurales à abandonner leurs terres. Les villes deviennent des refuges temporaires, puis des foyers de tension lorsque les ressources disponibles ne suffisent plus.

Les crises de l'eau accentuent également les conflits communautaires. L'accès à un puits, à une rivière ou à une source devient un enjeu vital qui dépasse les clivages religieux ou ethniques. Dans certaines zones, comme au Soudan, au Nigeria ou au Mali, les affrontements entre agriculteurs et éleveurs sont directement liés à la raréfaction de l'eau. Cette dimension hydrique des conflits est souvent sous-estimée, alors

qu’elle structure une partie croissante des migrations et des guerres locales.

À l’horizon 2050, le nombre de **réfugiés climatiques et hydriques** pourrait atteindre plusieurs centaines de millions, redessinant les flux migratoires mondiaux et mettant à l’épreuve la solidarité internationale. L’eau devient, de fait, une question de sécurité humaine globale.

La privatisation et la marchandisation de l’eau

Dans un contexte de pénurie, la tentation est grande de confier la gestion de l’eau au secteur privé, censé être plus efficace et rentable. Depuis les années 1990, de nombreuses métropoles ont privatisé leur distribution d’eau. Si certaines expériences ont amélioré la qualité du service, beaucoup ont abouti à des hausses tarifaires et à l’exclusion des plus pauvres. L’eau, bien commun par excellence, s’est retrouvée soumise à la logique du profit.

Des multinationales ont fait de la gestion de l’eau un **secteur stratégique**, comparable à celui de l’énergie. Les marchés à terme de l’eau, apparus aux États-Unis dans les années 2020, ont ouvert la voie à la spéculation sur les prix de l’eau brute. Cette financiarisation croissante soulève des questions éthiques majeures : peut-on réellement laisser le marché réguler l’accès à une ressource vitale ?

Dans le futur, il est probable que les inégalités hydriques s’aggravent, non pas à cause d’un manque global d’eau douce — la planète en contient encore en abondance —, mais en

raison de sa **mauvaise répartition et de son appropriation croissante** par les acteurs économiques les plus puissants.

L’eau, bien commun planétaire ou ressource géostratégique ?

Face à la crise, deux visions du futur s’affrontent. La première considère l’eau comme un **bien commun mondial**, à gérer collectivement selon des principes de solidarité et de durabilité. Elle implique une gouvernance internationale, des investissements massifs dans les infrastructures publiques, et une régulation stricte contre la privatisation abusive.

La seconde vision, plus réaliste mais plus inquiétante, voit l’eau comme un **levier géostratégique**. Les États qui possèdent des ressources hydriques abondantes – Canada, Norvège, Brésil, Russie – pourraient devenir des puissances de l’eau, exportant leur ressource ou monnayant leur accès. Les pays déficitaires, quant à eux, dépendront des technologies de dessalement ou d’importation d’eau virtuelle via les denrées agricoles.

Cette fracture hydrique pourrait devenir le nouvel axe Nord-Sud du XXIe siècle. Si le pétrole a dominé les relations internationales du XXe siècle, l’eau risque de devenir la **ressource pivot du monde post-abondance**.

Un défi de gouvernance mondiale

Assurer un accès universel à l’eau potable d’ici 2050 nécessitera une révolution dans la gouvernance de l’eau. Cela

implique d'intégrer la gestion hydrique aux politiques de santé, d'énergie et d'alimentation, mais aussi d'encourager la coopération transfrontalière. Les bassins fluviaux partagés — Nil, Mékong, Jourdain, Amazone — sont autant de points chauds où la diplomatie de l'eau devra remplacer la logique de domination.

La technologie peut jouer un rôle clé, notamment à travers la réutilisation des eaux usées, la désalinisation à faible empreinte énergétique et la gestion intelligente des réseaux. Mais la solution sera avant tout **politique et sociale** : garantir à chaque être humain le droit à l'eau, sans distinction de richesse ni de territoire.

Dans un monde marqué par la fin de l'abondance, l'accès à l'eau potable sera la **pierre de touche de la justice mondiale**. Là où l'eau coule, la vie prospère. Là où elle manque, la société vacille.

172 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

4.3 Les migrations climatiques et les guerres de l’eau

Un monde en mouvement : l’eau comme force migratoire invisible

Le XXIe siècle est en train de devenir celui des migrations de masse. Si les guerres, la pauvreté et la recherche d’opportunités économiques demeurent des moteurs puissants des déplacements humains, un facteur plus profond et moins visible s’impose : **la raréfaction de l’eau**. Derrière chaque crise alimentaire, chaque exode rural, chaque effondrement agricole, il y a souvent une sécheresse prolongée, une nappe phréatique épuisée ou un fleuve à sec.

Les climatologues et les géographes estiment que d’ici 2050, **plus d’un milliard d’êtres humains** pourraient être forcés de migrer en raison des impacts conjoints du réchauffement climatique et des pénuries hydriques. L’eau devient ainsi un **moteur structurel de déplacement**, comparable à une tectonique sociale lente mais irréversible. Dans les zones arides et semi-arides, l’impossibilité de maintenir une activité agricole ou d’assurer un approvisionnement stable en eau potable pousse des populations entières vers les villes ou vers les pays voisins.

Le triangle de la sécheresse : Afrique, Moyen-Orient, Asie du Sud

Les régions les plus vulnérables à cette nouvelle géographie de la soif se situent dans un vaste arc qui s’étend du Sahel africain

au Pakistan, en passant par la péninsule arabique et l'Iran. Dans ces zones, les températures extrêmes, la croissance démographique rapide et la surconsommation des aquifères ont créé un **cocktail explosif d'instabilité écologique et politique**.

Au Sahel, la désertification avance d'année en année. Les pays comme le Niger, le Mali ou le Tchad perdent des milliers d'hectares de terres arables chaque saison. Les populations pastorales, privées de pâturages et d'eau, se déplacent vers le sud, provoquant des conflits avec les agriculteurs sédentaires. Ces affrontements, souvent présentés comme ethniques ou religieux, sont en réalité **des guerres hydriques déguisées**, déclenchées par la raréfaction des ressources.

Au Moyen-Orient, les tensions autour de l'Euphrate et du Tigre illustrent la fragilité hydropolitique d'une région déjà traversée par les fractures idéologiques. Les projets de barrages en Turquie et en Iran réduisent le débit des fleuves en Irak et en Syrie, accentuant les rivalités interétatiques. Dans le sud de l'Irak, les marais mésopotamiens, berceau de la civilisation sumérienne, sont de nouveau menacés de disparition sous l'effet combiné de la sécheresse et de la salinisation.

En Asie du Sud, la fonte accélérée des glaciers de l'Himalaya – « château d'eau de l'Asie » – perturbe le débit de grands fleuves comme le Gange, le Brahmapoutre ou l'Indus. Ces fleuves nourrissent plus d'un milliard d'êtres humains. Leur déclin progressif pourrait provoquer des **migrations massives internes**, de la campagne vers les villes, mais aussi des

tensions frontalières entre l'Inde, le Pakistan, le Bangladesh et la Chine.

Des villes saturées : les capitales du désespoir hydrique

Les migrations climatiques liées à l'eau ne se limitent pas aux zones rurales. Elles créent une pression gigantesque sur les infrastructures urbaines. Des métropoles comme Le Caire, Lagos, New Delhi ou Mexico deviennent des **réservoirs de migrants hydriques**, où s'accumulent ceux qui ont fui la sécheresse, la perte de leurs terres ou la contamination de leur eau.

Ces villes, déjà en déficit hydrique, voient leurs besoins exploser alors que leurs sources d'approvisionnement s'épuisent. Les coupures d'eau deviennent fréquentes, les quartiers informels se multiplient, et les tensions sociales s'intensifient. Dans certains cas, les autorités doivent rationner l'eau ou la distribuer sous escorte militaire. La rareté hydrique urbaine n'est plus un problème technique, mais **un risque de rupture sociale et politique**.

Dans un futur proche, des mégapoles pourraient devenir **ingérables**, non pas faute de logements ou de travail, mais faute d'eau. L'histoire retiendra peut-être que la première cause de déstabilisation des villes du Sud aura été une crise de robinetterie globale.

L’eau comme déclencheur de conflits

Contrairement à l’idée reçue selon laquelle les guerres de l’eau seraient rares, les tensions hydriques sont aujourd’hui à la racine d’un nombre croissant de conflits. Il ne s’agit pas toujours de guerres ouvertes, mais plutôt de **conflits hybrides**, où l’eau devient un instrument de pression, de chantage ou de contrôle territorial.

Dans la bande du Nil, l’Égypte, l’Éthiopie et le Soudan s’affrontent diplomatiquement autour du Grand barrage de la Renaissance. Le fleuve, vital pour plus de 150 millions de personnes, devient une arme potentielle. En Asie centrale, les États riverains de l’Amou-Daria et du Syr-Daria se disputent l’usage des eaux pour l’irrigation et l’énergie, ressuscitant les tensions héritées de l’ère soviétique.

Les puissances militaires ont compris que contrôler l’eau, c’est contrôler la vie. Dans plusieurs zones de guerre récentes — Syrie, Yémen, Libye —, les infrastructures hydriques ont été délibérément ciblées. Couper l’eau, c’est asphyxier la résistance. L’eau devient alors **un outil de domination stratégique**, au même titre que le blocus alimentaire ou énergétique.

Le spectre des guerres de l’eau du XXIe siècle

À mesure que la population mondiale approche les 9,5 milliards d’habitants et que le climat se dérègle, le risque de **guerres de l’eau ouvertes** augmente. Celles-ci ne ressembleront pas nécessairement aux conflits traditionnels :

elles prendront la forme de guerres par procuration, de sabotages de barrages, de cyberattaques sur les systèmes hydriques ou de manipulations des flux transfrontaliers.

Les régions les plus à risque sont déjà identifiées. Le bassin du Nil, celui du Mékong, le bassin du Jourdain et les grands fleuves d'Asie centrale figurent parmi les plus exposés. Les tensions pourraient également s'étendre aux régions polaires, où la fonte de la glace fait émerger de nouvelles réserves d'eau douce. Les États capables de les capter ou de les stocker pourraient se retrouver en position de force dans la diplomatie mondiale.

Les armées se préparent discrètement à ces scénarios. Plusieurs puissances ont intégré la **sécurité hydrique** dans leurs doctrines stratégiques. Les alliances du futur ne se formeront peut-être plus autour du pétrole, mais autour de l'eau. La **géopolitique liquide** succédera alors à la géopolitique énergétique.

Les migrations hydriques : une crise humanitaire globale

L'Organisation internationale pour les migrations (OIM) considère déjà la raréfaction de l'eau comme la première cause émergente de déplacement humain au XXIe siècle. Les migrations hydriques ne se feront pas uniquement du Sud vers le Nord, mais aussi à l'intérieur des pays, bouleversant les équilibres économiques et culturels.

Les pays d'accueil, souvent eux-mêmes confrontés à des contraintes hydriques, devront gérer des arrivées massives dans

un contexte de tensions sociales. Les politiques migratoires actuelles, conçues pour des crises ponctuelles, ne sont pas adaptées à une **migration lente et continue** provoquée par la dégradation de l'environnement.

D'ici 2050, la notion même de frontière pourrait être redéfinie. Les États devront choisir entre la fermeture sécuritaire et la coopération hydrique. Sans un cadre multilatéral solide, les migrations climatiques risquent d'entraîner un repli nationaliste généralisé, où chaque pays défendra son eau comme une forteresse.

Prévenir les guerres de l'eau : diplomatie et gouvernance partagée

Face à ce risque, la seule alternative réaliste à la confrontation reste la **coopération hydrodiplomatique**. Plus de 260 bassins fluviaux sont partagés entre plusieurs États ; ils représentent près de 60 % des ressources en eau douce de la planète. Ces bassins exigent une gestion concertée, équitable et transparente.

Des initiatives comme la Convention de New York (1997) et la Convention d'Helsinki (1992) ont posé les bases du droit international de l'eau, mais leur application demeure partielle. La diplomatie de l'eau devra aller plus loin : créer des institutions de partage, encourager la solidarité technologique (dessalement, recyclage, transfert d'eau), et intégrer la sécurité hydrique dans les accords climatiques globaux.

La prévention des guerres de l'eau passera aussi par l'éducation, la sensibilisation et la réduction de la demande. L'eau ne peut plus être considérée comme un bien acquis : c'est **un élément stratégique, un facteur de paix ou de chaos selon la manière dont l'humanité la gérera**.

Un futur sous tension : la planète bleue qui se dessèche

Le paradoxe ultime du XXIe siècle réside dans cette image : une planète recouverte à 70 % d'eau, mais dont une partie croissante des habitants meurt de soif. Les migrations climatiques et les guerres de l'eau symbolisent la **fin de l'illusion d'abondance**. Elles rappellent que la stabilité humaine repose sur des équilibres hydrologiques fragiles, aujourd'hui rompus.

Si l'humanité ne parvient pas à instaurer une gouvernance hydrique mondiale, l'eau deviendra la **nouvelle monnaie de pouvoir**, plus précieuse et plus convoitée que le pétrole. Le monde de 2040–2050 sera alors un monde où les lignes de front ne sépareront plus les idéologies, mais les sources et les bassins versants.

4.4 Dessalement, recyclage, sobriété : solutions et limites

L’ingéniosité humaine face à la soif du monde

Face à la crise hydrique mondiale, les sociétés humaines se tournent vers la technologie pour repousser les limites du possible. Le dessalement de l’eau de mer, la réutilisation des eaux usées et les politiques de sobriété hydrique apparaissent comme les trois grands piliers d’une **stratégie de survie planétaire**. Ces approches, déjà à l’œuvre dans certaines régions du monde, représentent autant d’espoirs que de paradoxes.

Elles témoignent de la capacité de l’humanité à innover pour pallier la rareté, mais aussi de son incapacité à réduire la demande. Car si ces solutions permettent de produire de l’eau « nouvelle », elles ne résolvent pas toujours les causes profondes de la crise : surexploitation, gaspillage, croissance démographique et déséquilibres économiques. Le défi du futur ne sera pas seulement de produire davantage d’eau, mais d’apprendre à **vivre dans les limites hydriques de la planète**.

Le dessalement : la mer comme dernier réservoir

Longtemps considéré comme une technologie coûteuse et énergivore, le **dessalement de l’eau de mer** connaît depuis deux décennies une croissance spectaculaire. Près de 21 000 usines sont désormais en activité dans le monde, produisant plus de 120 millions de mètres cubes d’eau douce par jour. Les

régions du Golfe, Israël, l'Australie et l'Espagne figurent parmi les pionnières de ce secteur.

Cette technique repose principalement sur l'osmose inverse, un processus consistant à faire passer l'eau salée à travers des membranes qui retiennent les sels et les impuretés. Les progrès technologiques ont permis de réduire le coût énergétique et financier du dessalement, mais il demeure **très dépendant des combustibles fossiles**. Dans de nombreux pays, produire de l'eau douce nécessite encore de brûler du pétrole ou du gaz, ce qui alimente en retour le réchauffement climatique – principal moteur des sécheresses.

À cette contradiction énergétique s'ajoute un problème environnemental majeur : la **restitution de la saumure**, c'est-à-dire les rejets très concentrés en sel et en produits chimiques dans les mers. Ces effluents, souvent déversés sans traitement suffisant, altèrent les écosystèmes côtiers et détruisent la biodiversité marine. À grande échelle, le dessalement ne saurait être une solution universelle : il est efficace pour les pays riches et côtiers, mais inaccessible ou insoutenable pour les nations enclavées ou en développement.

Le recyclage des eaux usées : une seconde vie pour chaque goutte

Parallèlement au dessalement, le **recyclage des eaux usées** s'impose comme l'une des innovations les plus prometteuses. Il consiste à traiter et purifier les eaux domestiques, industrielles ou agricoles afin de les réutiliser pour l'irrigation,

l’industrie ou même la consommation humaine après traitement avancé.

Des villes comme Singapour, Windhoek (Namibie) ou Tel-Aviv ont démontré qu’il est possible de **boucler le cycle de l’eau** presque intégralement. À Singapour, plus de 40 % de l’eau consommée provient du recyclage. Cette approche réduit la pression sur les nappes phréatiques et sur les ressources de surface, tout en offrant une sécurité hydrique aux zones fortement urbanisées.

Cependant, les obstacles demeurent nombreux : coût élevé des infrastructures, complexité du traitement, réticences psychologiques de la population. Dans plusieurs pays, le simple fait de boire de « l’eau recyclée » provoque un rejet culturel. La réussite du recyclage dépend donc autant de la **technologie** que de la **confiance collective**.

À grande échelle, cette stratégie pourrait réduire la demande d’eau douce de 10 à 15 % d’ici 2050, mais elle suppose une transformation profonde des systèmes urbains et des mentalités.

Sobriété hydrique : vers une révolution culturelle

Si la technologie peut repousser les limites physiques, elle ne peut compenser une **absence de sobriété**. L’eau reste gaspillée à une échelle colossale : près de 30 % de l’eau distribuée dans les villes est perdue à cause des fuites, tandis que l’agriculture représente à elle seule 70 % de la consommation mondiale, souvent pour des cultures non adaptées aux climats locaux.

Face à cette dérive, la **sobriété hydrique** émerge comme une nouvelle éthique collective. Elle repose sur trois principes : réduire la demande, améliorer l'efficacité et changer les usages. Les exemples se multiplient : interdiction de certaines cultures dans les zones arides, tarification progressive selon la consommation, recyclage industriel obligatoire, et réutilisation locale des eaux grises.

Dans les pays développés, cette sobriété pourrait s'imposer par contrainte économique et climatique. Dans les pays en développement, elle sera une question de survie. Car la véritable innovation du futur ne sera pas de dessaler la mer, mais de **réapprendre à consommer l'eau comme une ressource finie**.

Les limites physiques et politiques de la technologie

Les technologies hydriques, si avancées soient-elles, se heurtent à des **limites structurelles**. Le dessalement et le recyclage nécessitent une énergie abondante, stable et peu coûteuse – un luxe que peu de pays peuvent se permettre. De plus, leur mise en œuvre suppose une gouvernance efficace, des institutions solides et une transparence dans la gestion des ressources, conditions rarement réunies dans les régions les plus touchées par la crise.

Le risque est alors celui d'une **fracture technologique** : les nations riches investiront dans le dessalement massif et les infrastructures intelligentes, tandis que les plus pauvres verront leur dépendance s'aggraver. Cette asymétrie pourrait devenir

l’un des marqueurs de la géopolitique du futur : l’« apartheid hydrique » entre les sociétés capables de produire de l’eau et celles condamnées à la subir.

Même les États les plus avancés devront composer avec les contraintes écologiques. À mesure que la demande mondiale augmentera, l’énergie nécessaire au dessalement et au recyclage pourrait croître plus vite que les capacités de production renouvelable. Une **spirale de dépendance énergétique** risque alors de s’enclencher, liant indéfectiblement eau et énergie dans un cycle de vulnérabilité réciproque.

Une transition nécessaire mais incomplète

L’avenir hydrique de la planète ne pourra reposer sur une seule solution. Le dessalement, le recyclage et la sobriété doivent être pensés comme les trois composantes d’un même système, intégré à la planification urbaine, agricole et énergétique. Ces technologies permettront de gagner du temps, mais non d’éviter le changement de paradigme nécessaire.

La véritable question n’est pas de savoir combien d’eau on peut produire, mais **quelle société peut prospérer dans la rareté**. Les innovations techniques devront s’accompagner d’une transformation sociale : nouveaux comportements, gestion participative, justice hydrique. Sans cela, la technologie ne fera que déplacer la crise au lieu de la résoudre.

Le monde de 2040–2050 devra apprendre à **vivre avec moins**, non par choix idéologique, mais par nécessité physique. Car

aucune membrane d’osmose, aucun algorithme de recyclage ne peut recréer la pluie, ni restaurer une nappe fossile tarie depuis des siècles.

188 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

5. Le manque de sable : un désastre invisible

Une ressource omniprésente et méconnue

Le sable, banal à nos yeux, est la **seconde ressource la plus exploitée au monde après l'eau**. Il constitue le socle physique de la modernité : béton, verre, routes, microprocesseurs, batteries, panneaux solaires, fibres optiques — tout repose, littéralement, sur ses grains. Chaque gratte-ciel, chaque écran de téléphone, chaque autoroute incarne une portion de cette matière discrète arrachée à la Terre.

Pourtant, derrière cette apparente abondance se cache une crise silencieuse. Les réserves exploitables de sable de construction — principalement le sable alluvial et marin — s'amenuisent à mesure que la demande mondiale explose. En 2025, plus de 50 milliards de tonnes sont extraites chaque année, soit presque deux fois plus qu'il y a vingt ans. Ce rythme est intenable. D'ici 2040–2050, la planète pourrait entrer dans une ère de **pénurie structurelle de sable**, bouleversant l'économie mondiale des infrastructures et de la technologie.

La dépendance de la civilisation au sable

Le sable est au cœur du système productif global. Dans la construction, il constitue environ les trois quarts du béton et la quasi-totalité du mortier. L'urbanisation rapide en Asie, en Afrique et au Moyen-Orient a multiplié par trois la demande

depuis 1990. Les grands chantiers d'infrastructures, la croissance des villes nouvelles et les projets d'îles artificielles, comme à Dubaï, Singapour ou Shanghai, ont fait du sable une **ressource stratégique**.

Au-delà du béton, l'industrie du verre – utilisée dans les vitres, les fibres optiques, les écrans LCD et les panneaux photovoltaïques – consomme un sable d'une pureté spécifique, souvent rare et géographiquement concentré. L'essor des technologies vertes, paradoxalement, renforce cette dépendance. Chaque mètre carré de panneau solaire requiert environ 15 kilogrammes de sable de silice, tandis que chaque kilomètre de fibre optique en nécessite des dizaines de kilogrammes.

Ainsi, plus le monde s'électrifie, se numérise et se « verdit », plus il consomme du sable. La transition énergétique, censée réduire notre empreinte écologique, **accroît involontairement la pression sur cette ressource non renouvelable**.

Un cycle d'extraction insoutenable

L'extraction du sable s'effectue principalement dans les lits des rivières, les plages, les deltas et les fonds marins. Or, ces milieux sont des écosystèmes essentiels à la régulation hydrologique et à la biodiversité. En prélevant des millions de tonnes chaque année, les humains altèrent le cours des fleuves, aggravent l'érosion côtière et déstabilisent les sols.

Les conséquences écologiques sont considérables : recul des deltas, disparition de zones humides, effondrement d'habitats

aquatiques, salinisation des nappes phréatiques. Dans certaines régions d'Asie du Sud-Est, l'extraction incontrôlée a provoqué **l'effondrement de berges entières** et le déplacement de villages. Les satellites de la NASA ont même observé des modifications du tracé de certains fleuves.

Le paradoxe est cruel : le sable est un matériau si commun qu'il échappe à la régulation internationale. Il ne fait l'objet d'aucun traité global, et la plupart des pays manquent de législation efficace pour encadrer son extraction. Cette absence de gouvernance alimente une économie grise, souvent criminelle.

L'émergence d'un marché noir mondial du sable

À mesure que les réserves locales s'épuisent, le commerce international du sable s'est intensifié. Des cargaisons entières sont exportées clandestinement, notamment depuis l'Asie du Sud et l'Afrique vers les grandes métropoles du Golfe ou de Chine. Ce commerce illégal génère des profits colossaux, parfois supérieurs à ceux de certaines drogues, et s'accompagne de **corruption, de violence et d'exploitation humaine**.

Des « mafias du sable » opèrent aujourd'hui en Inde, au Cambodge, au Nigeria et aux Philippines. Des journalistes, des écologistes et des fonctionnaires ont été menacés ou assassinés pour avoir tenté de dénoncer ces trafics. Dans plusieurs pays, le sable est devenu une **ressource de pouvoir**, contrôlée par des

réseaux politico-économiques mêlant intérêts privés, militaires et criminels.

Ce phénomène témoigne d'une mutation profonde : les matières premières qui structurent la civilisation ne sont plus seulement des enjeux économiques, mais des **vecteurs de violence et de souveraineté**. À mesure que le pétrole et l'eau deviennent rares, le sable pourrait devenir la prochaine cause de tensions transnationales.

Les limites physiques de la substitution

Contrairement à d'autres ressources, le sable n'a pas de substitut parfait. Le sable du désert, trop fin et trop arrondi, est inutilisable pour la construction, car il ne s'agrège pas correctement au ciment. Les alternatives — sable concassé, roches broyées, résidus de mines — restent limitées par leur coût, leur empreinte énergétique et leur impact environnemental.

Les technologies de recyclage du béton ou de réutilisation des déchets de construction offrent une lueur d'espoir, mais elles demeurent marginales à l'échelle globale. Les grandes métropoles, notamment en Asie et au Moyen-Orient, continueront d'importer du sable pendant des décennies. Le recyclage pourra compenser une partie de la demande, mais non la croissance structurelle des besoins liés à la transition énergétique et à l'urbanisation.

Les tensions géopolitiques à venir

La géographie du sable est en train de devenir un facteur de **rééquilibrage stratégique**. Les pays disposant de vastes ressources alluviales, comme l'Indonésie, le Vietnam, le Brésil ou l'Égypte, verront leur influence croître. Certains États commencent déjà à restreindre leurs exportations pour préserver leurs écosystèmes, à l'image de l'Indonésie qui a interdit la vente de sable marin dès 2023.

Dans les décennies à venir, les tensions pourraient s'étendre aux frontières maritimes et aux bassins fluviaux. Les mégaprojets de poldérisation ou de construction d'îles artificielles — comme en mer de Chine méridionale — constituent non seulement des démonstrations de puissance territoriale, mais aussi des **conflits potentiels pour l'accès aux sédiments**.

La rivalité entre pays émergents, combinée à la croissance urbaine mondiale, pourrait transformer le sable en **nouvelle ressource critique du XXIe siècle**, à l'instar du lithium ou du cobalt.

Vers une gouvernance mondiale du sable

Face à ce désastre invisible, une prise de conscience commence à émerger. L'ONU a publié en 2024 un rapport appelant à une « gouvernance durable du sable », soulignant la nécessité de suivre les flux d'extraction, d'imposer des quotas et de promouvoir le recyclage. Certains pays envisagent de créer un

marché régulé du sable, sur le modèle des droits à polluer, afin de valoriser les pratiques responsables.

Cependant, ces initiatives demeurent embryonnaires. L'absence d'un cadre juridique international rend difficile toute action concertée. Le sable, omniprésent mais invisible, reste le grand oublié des politiques climatiques et environnementales. Tant que la croissance urbaine se poursuivra sans repenser les matériaux et les modes de construction, la planète continuera à **s'effriter pour bâtir**.

Une ressource banale devenue symbole de la démesure humaine

Le sable cristallise la contradiction fondamentale du monde contemporain : vouloir bâtir un avenir durable avec les mêmes logiques d'extraction qui ont provoqué la crise écologique. La raréfaction de cette ressource ne se traduira pas seulement par une hausse des coûts du béton ou du verre, mais par une **crise systémique de l'aménagement du territoire**, de la production énergétique et de la technologie.

Le désastre du sable est d'autant plus inquiétant qu'il échappe à la perception publique. Invisibles, les pénuries progressent lentement, sous nos routes, nos ports et nos villes. En 2040–2050, lorsque les deltas seront érodés, les littoraux rongés et les carrières épuisées, il sera trop tard pour restaurer les équilibres détruits.

Le monde aura alors appris, à ses dépens, que même les grains les plus petits peuvent faire s’effondrer les civilisations les plus grandes.

5.1 La ressource la plus consommée après l’eau

Un pilier méconnu de la civilisation matérielle

Il est difficile d’imaginer le monde moderne sans sable. Présent dans presque toutes les infrastructures, les technologies et les objets du quotidien, il constitue la **colonne vertébrale matérielle** de la civilisation industrielle. Derrière chaque immeuble, chaque microprocesseur ou chaque panneau solaire se cache une multitude de grains de silice, extraits, lavés, chauffés et transformés.

À l’échelle planétaire, la consommation de sable dépasse les 50 milliards de tonnes par an — soit environ **18 kilogrammes par être humain et par jour**. Cette demande colossale surpasse largement celle de tout autre matériau solide. La comparaison est édifiante : l’humanité consomme environ **huit fois plus de sable que de pétrole**, et trois fois plus que de charbon ou de minerai de fer.

Ce paradoxe souligne un constat : la ressource la plus consommée après l’eau est aussi **celle dont la raréfaction est la moins perçue**. Car, à la différence des hydrocarbures ou des métaux, le sable n’a pas d’image stratégique. Il est silencieux, inodore, invisible dans les statistiques publiques, mais omniprésent dans les fondations de nos sociétés.

La triple dépendance : urbanisation, énergie, technologie

Trois dynamiques structurent la demande mondiale de sable : l’urbanisation, la transition énergétique et la numérisation. Ces

forces conjuguées transforment le sable en un **matériau pivot de la croissance économique et de la modernité technologique**.

1. L'urbanisation mondiale.
La population urbaine mondiale, estimée à plus de 7 milliards d'habitants en 2050, nécessite une expansion constante des infrastructures : logements, routes, ponts, ports, hôpitaux, écoles. Chaque mètre carré de bâtiment exige jusqu'à deux tonnes de sable, tandis que chaque kilomètre d'autoroute peut en engloutir plusieurs dizaines de milliers de tonnes. Les mégapoles du Sud global, en pleine expansion, deviennent les principaux moteurs de cette demande.

2. La transition énergétique.
Les énergies renouvelables, souvent perçues comme une rupture écologique, reposent elles aussi sur le sable. La fabrication du verre solaire, des batteries et des composites d'éoliennes dépend de la silice. Le développement massif du solaire photovoltaïque pourrait multiplier par quatre la consommation de sable de haute pureté d'ici 2050.

3. La révolution numérique.
Les technologies numériques — fibres optiques, circuits intégrés, écrans, processeurs — consomment du sable à des échelles invisibles. La production d'un seul smartphone nécessite plusieurs dizaines de grammes de silice ultra-pure, issue d'un processus de raffinage énergivore. Les centres de données, symboles de la modernité numérique, sont littéralement bâtis sur du sable : celui du béton de leurs

bâtiments, et celui qui compose les puces électroniques des serveurs.

Ainsi, à travers ces trois dynamiques — **bâtir, produire, connecter** — le sable incarne la matière même de la mondialisation.

L’illusion de l’infinité

Pendant longtemps, le sable a été considéré comme inépuisable. Sa présence sur les plages, dans les déserts et au fond des mers entretenait l’idée d’une ressource illimitée. Pourtant, seuls certains types de sable — principalement **les sables fluviaux et marins** — possèdent les caractéristiques physiques adaptées à la construction. Le sable du désert, trop fin et trop arrondi, est inutilisable pour le béton, car il ne s’agrège pas avec le ciment.

Ainsi, contrairement aux apparences, la ressource exploitable est **géographiquement limitée**. Les régions littorales, les vallées alluviales et les lits de rivières concentrent la majorité des gisements utilisables. Or, ces zones sont aussi les plus peuplées, les plus urbanisées et les plus vulnérables écologiquement. Cette coïncidence alimente un **cercle vicieux d’exploitation** : plus on bâtit, plus on épuise les réserves locales, et plus il faut aller chercher le sable plus loin, au prix de destructions environnementales accrues.

En Asie du Sud-Est, certains fleuves sont aujourd’hui creusés à des profondeurs telles que leur écosystème s’effondre. Des plages entières disparaissent, non sous l’effet de la montée des

mers, mais à cause de l'extraction industrielle. L'humanité érode littéralement la planète pour soutenir sa croissance.

Le coût écologique d'une ressource discrète

Chaque grain de sable prélevé dans la nature représente une **perturbation géologique** et un **déséquilibre écologique**. L'extraction massive modifie le régime des fleuves, accélère l'érosion des côtes et détruit les habitats marins. Les zones d'extraction deviennent des paysages lunaires, où la faune aquatique disparaît, les nappes s'assèchent et les sols s'affaissent.

Le coût écologique de cette activité, rarement intégré dans les bilans économiques, est immense. Il se traduit par la perte de biodiversité, la pollution des eaux, l'effondrement de certaines pêcheries et une aggravation des risques d'inondation. Dans certaines régions, la disparition du sable côtier prive les littoraux de leur barrière naturelle contre les tempêtes et l'élévation du niveau de la mer.

Ce processus met en lumière un fait géopolitique majeur : le sable, par sa rareté croissante, est en passe de devenir **un enjeu de souveraineté environnementale**.

Une économie de l'invisible

Le marché du sable est fragmenté, peu régulé et largement informel. Il échappe en grande partie aux statistiques économiques mondiales, contrairement au pétrole, au cuivre ou au blé. Pourtant, il s'agit d'un secteur représentant **plus de 70**

milliards de dollars par an, sans compter les activités illégales.

Cette opacité nourrit la spéculation et le crime organisé. Des « mafias du sable » exploitent des rivières et des plages entières, souvent dans l'impunité la plus totale. Les profits issus de cette économie grise sont réinvestis dans les circuits légaux, brouillant les frontières entre économie licite et extraction sauvage. Le sable devient ainsi un **symbole de la mondialisation dématérialisée**, où la matière circule sans contrôle, alimentant à la fois la modernité et la destruction.

L'avenir du sable dans un monde contraint

En 2040–2050, le sable pourrait devenir un **indicateur central de la soutenabilité économique et écologique**. Sa consommation sera un révélateur de la capacité des sociétés à s'adapter à la rareté des ressources. Deux trajectoires se dessinent :

- Dans le scénario **de continuité**, la demande continue de croître, les extractions s'intensifient, et la planète subit une érosion accélérée. Les tensions entre États pour l'accès aux gisements et aux sédiments fluviaux se multiplient.
- Dans le scénario **de transition**, les sociétés investissent dans le recyclage des matériaux, la conception modulaire et la sobriété dans la construction. Le sable devient alors une ressource valorisée, mesurée, comptabilisée et protégée.

Mais pour que cette transition advienne, il faudra repenser profondément la logique même de la croissance urbaine et de la production industrielle. Le sable n’est pas seulement une ressource : il est **le miroir de nos excès**. Sa pénurie à venir signale la fin du mythe de l’abondance infinie, celui d’un monde qui croyait pouvoir construire sans limites.

204 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

5.2 Les mafias du sable et la destruction des littoraux

Si le sable évoque pour beaucoup une matière inépuisable, symbole de vacances et d'immensité naturelle, il est en réalité devenu l'un des matériaux les plus disputés de la planète. La demande mondiale, alimentée par l'explosion urbaine, les infrastructures et la croissance du numérique, a donné naissance à une économie parallèle : celle des **mafias du sable**. Ces organisations criminelles, souvent méconnues du grand public, pillent les littoraux, les rivières et les fonds marins pour répondre aux besoins titanesques de la construction et des technologies modernes. Ce commerce illicite, estimé à plusieurs dizaines de milliards de dollars par an, provoque une **destruction écologique majeure** et des tensions sociales croissantes dans de nombreuses régions du monde.

L'essor d'un marché noir planétaire

Le commerce illégal du sable s'est structuré à mesure que les ressources naturelles accessibles s'épuisaient. En Inde, au Kenya, au Maroc, en Indonésie ou encore au Vietnam, des réseaux organisés extraient clandestinement des millions de tonnes de sable chaque année. Ces filières fonctionnent selon des logiques comparables à celles du trafic de drogues ou d'armes : corruption des autorités, intimidation des populations locales, exploitation d'une main-d'œuvre précaire, et parfois assassinats de journalistes ou d'activistes écologistes.

Les prix du sable varient selon la proximité des chantiers urbains et la réglementation environnementale. Dans les régions côtières d'Asie, notamment autour de Singapour — qui a longtemps importé du sable pour agrandir artificiellement son territoire —, le commerce illégal a atteint des proportions gigantesques. Plusieurs pays d'Asie du Sud-Est, tels que l'Indonésie, la Malaisie ou le Cambodge, ont dû **interdire l'exportation de sable** en raison de l'érosion dramatique de leurs côtes.

Cette criminalité environnementale prospère sur les failles de la gouvernance mondiale. Le sable est une ressource non répertoriée dans la plupart des cadres juridiques internationaux ; il échappe donc à la traçabilité et au contrôle douanier. La Banque mondiale estime que **jusqu'à 70 % du sable utilisé dans la construction mondiale pourrait provenir de sources non réglementées**. Ce flou légal favorise les activités illicites et les conflits entre États riverains ou régions concurrentes.

Des littoraux dévastés et des écosystèmes effondrés

L'extraction intensive du sable a des effets catastrophiques sur les écosystèmes côtiers. Chaque pelletée de sable prélevée sur une plage, une rivière ou un estuaire détruit un équilibre écologique fragile, souvent mis en place sur des milliers d'années. Le retrait du sable modifie la morphologie des rivages, accélère l'érosion, réduit la capacité des zones humides à filtrer l'eau, et provoque l'effondrement d'habitats essentiels pour la faune marine.

En Inde, des villages entiers du Kerala et du Tamil Nadu ont vu leurs terres agricoles englouties par la mer à cause du **dragage intensif des plages**. Au Maroc, la côte atlantique recule de plusieurs mètres par an dans certaines zones en raison du prélèvement clandestin de sable pour les chantiers touristiques. En Indonésie, des îles ont littéralement disparu de la carte, transformées en cratères aquatiques après des années d'extraction incontrôlée.

Les conséquences ne sont pas uniquement environnementales. L'érosion côtière accroît la vulnérabilité des populations aux tempêtes et à la montée du niveau de la mer. Elle menace les infrastructures portuaires, les routes, les habitations et les sites touristiques. Dans plusieurs pays africains, des **conflits locaux éclatent entre communautés** pour le contrôle des zones sablonneuses encore exploitables. Le sable est ainsi devenu un **enjeu de survie économique et territoriale**, accentuant les fractures sociales et environnementales.

Un enjeu de sécurité et de gouvernance mondiale

Le trafic de sable illustre à quel point la raréfaction des ressources peut déstabiliser des régions entières. Là où les institutions sont faibles et la régulation absente, les mafias imposent leur loi. Des affrontements meurtriers entre trafiquants et forces de l'ordre ont été signalés en Inde, au Kenya ou en Indonésie. Ces violences traduisent une **hybridation croissante entre économie criminelle et exploitation environnementale**, préfigurant de nouvelles formes de conflits pour les matières premières au XXI^{e} siècle.

Sur le plan diplomatique, les tensions autour des sables marins se multiplient. Singapour, par exemple, a été accusée d'avoir importé illégalement du sable indonésien, conduisant Jakarta à **suspendre ses exportations dès 2007**. Des différends similaires opposent le Cambodge au Vietnam, ou encore la Malaisie à ses voisins insulaires. L'absence d'un cadre juridique international sur la gestion durable du sable rend difficile la médiation et la coopération régionale.

Vers une prise de conscience mondiale

Face à ce désastre invisible, certaines initiatives commencent à émerger. Le **Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE)** a publié plusieurs rapports alertant sur l'urgence de réguler la filière du sable et de promouvoir une extraction durable. Des solutions technologiques existent : le recyclage des gravats, l'utilisation de sable de carrière ou de matériaux de substitution (comme les cendres volantes ou les sables artificiels issus de la roche concassée). Toutefois, ces alternatives demeurent marginales face à l'ampleur de la demande mondiale.

La transition écologique des villes et des infrastructures nécessitera une **révolution dans la conception même du bâti**, afin de réduire la dépendance au béton. L'économie circulaire dans la construction, la mutualisation des matériaux et la sobriété urbaine sont des pistes prometteuses, mais elles se heurtent encore à la logique du profit et à l'urbanisation effrénée du Sud global.

Le sable, matériau banal et omniprésent, s’impose ainsi comme un **symbole tragique de la fin de l’abondance**. Invisible dans nos vies quotidiennes, il est pourtant au cœur des équilibres économiques, écologiques et géopolitiques du monde à venir. Sa disparition silencieuse préfigure un avenir où les ressources naturelles, autrefois considérées comme inépuisables, deviendront les moteurs de nouvelles luttes planétaires.

5.3 Le béton du futur : matériaux alternatifs et innovation durable

Le ciment et le béton représentent aujourd'hui l'un des piliers de l'infrastructure mondiale — mais aussi l'un des secteurs les plus émetteurs de CO_2. La production du clinker, constituant principal du ciment Portland traditionnel, est énergivore et libère du CO_2 à la fois par la combustion d'énergies fossiles et par la calcination du calcaire. Transformer ce secteur est donc essentiel si l'on veut contenir le réchauffement climatique tout en répondant aux besoins de construction des prochaines décennies. Les scénarios énergétiques récents montrent que la transition est en marche et que des solutions mixtes — substitution de matières premières, innovations biologiques, et capture du carbone à l'échelle industrielle — devront converger pour permettre un béton réellement bas-carbone d'ici 2040–2050. Rystad Energy

Réduire le « facteur clinker » : ciments à faible émission
Une des voies les plus pratiques et économiquement réalistes consiste à réduire la part de clinker dans la composition du ciment en le remplaçant par des matériaux pouzzolaniques ou complémentaires (SCM — supplementary cementitious materials). Parmi eux, le ciment dit **LC3** (Limestone Calcined Clay Cement — mélange de calcaire et d'argile calcinée) est apparu comme une solution robuste et déployable globalement : il permet des réductions de l'ordre de 30–40 % des émissions liées au ciment sans modifications lourdes des usines, utilise des matières premières abondantes et peut être

mis en œuvre à grande échelle. Des projets pilotes et des publications universitaires confirment la performance mécanique et la durabilité croissante des formulations LC3. LC3

Géopolymères et liants alternatifs
En parallèle, des liants géopolymères et des ciments à base d'alcali-activation (par exemple à partir de cendres volantes, de laitier de haut fourneau, ou d'autres résidus industriels) offrent une voie vers des émissions considérablement réduites, parfois jusqu'à 50 % ou plus selon les formulations et l'origine des matières premières. Ces technologies présentent toutefois des barrières pratiques : disponibilité locale des matières premières, contrôle qualité, normalisation et acceptation réglementaire. La recherche récente met l'accent sur l'optimisation des formulations et sur la compatibilité avec les pratiques de construction existantes. ScienceDirect

Matériaux bio-inspirés et composites vivants
Au-delà des liants minéraux, des matériaux d'origine biologique ou composite gagnent en maturité. Le **hempcrete** (bâtiment à base de chanvre et de liant) est un bon exemple d'isolant biosourcé et léger, déjà utilisé pour des projets pilotes et analysé dans des revues récentes pour sa durabilité et son bilan carbone favorable — bien qu'il ne remplace pas le béton structurel dans tous les usages. Les biocomposites à base de **mycélium** (champignons) et les composites chanvre-mycélium explorent quant à eux des usages innovants : isolation, éléments non porteurs, et même composants structurels légers

— avec des recherches récentes montrant des potentialités en auto-réparation et en recyclabilité. Ces matériaux posent cependant des défis en matière de comportement au feu, de longévité et de normalisation. ResearchGate

Capture, utilisation et stockage du carbone (CCUS)
Même en combinant substitutions et innovations, il restera des émissions d'origine processuelle liées à la calcination. La capture et le stockage (ou l'utilisation) du CO_2 émanent donc comme une composante indispensable pour viser des émissions quasi-nulles dans le secteur cimentier. Des démonstrateurs industriels récents (par exemple l'intégration de captage sur cimenteries en Europe) montrent la faisabilité technique du CCUS appliqué au ciment — et certains projets commerciaux annoncent des capacités significatives. Néanmoins, le coût, l'infrastructure de transport et de stockage du CO_2, ainsi que le cadre réglementaire et financier, restent des leviers critiques pour la généralisation. Heidelberg Materials

Innovation par la conception et circularité
La transition ne passe pas uniquement par de nouveaux liants : l'**optimisation structurelle**, la préfabrication, l'emploi de bétons à haute performance nécessitant moins de matière, et la mise en place de boucles circulaires (recyclage des granulats, valorisation des cendres industrielles) sont des leviers complémentaires. Les politiques publiques et les marchés publics ont un rôle décisif : l'achat public peut créer la demande pour des bétons bas-carbone et favoriser l'émergence d'une chaîne d'approvisionnement. Des initiatives industrielles

et des coalitions internationales militent déjà pour des standards et des obligations de performance environnementale dans la construction. GCCA

Cas concrets et trajectoires d’adoption
Des exemples récents — comme l’usage à grande échelle de LC3 pour des projets d’infrastructures (reporté pour certains grands chantiers) et le déploiement de captage industriel en Europe — illustrent que les solutions ne sont plus que théoriques. Ces premiers succès montrent aussi la nécessité d’un mix : substitution de clinker, adoption de matériaux biosourcés quand approprié, efficacité énergétique des usines, et CCUS pour les émissions résiduelles. Les scénarios énergétiques globaux soulignent que, pour 2040–2050, l’électrification, l’efficacité industrielle et l’innovation matériaux devront converger pour atteindre des réductions d’émissions à l’échelle requise. The Times of India

Perspectives et risques
Entre 2040 et 2050, le « béton du futur » sera vraisemblablement hétérogène : dans les zones où la régulation, la demande et les capacités industrielles le permettent, on verra des ciments à faible clinker, du béton incorporant des granulats recyclés et des additifs innovants, et des cimenteries équipées de CCUS ; dans d’autres territoires, les solutions biosourcées et les méthodes constructives alternatives (ossatures bois, techniques modulaires) supplanteront partiellement le béton. Le principal risque est politique et économique : sans incitations réglementaires et

sans investissement dans les réseaux de captage/stockage et la normalisation, l’adoption restera fragmentaire. À l’inverse, une coordination internationale autour des marchés publics et des standards pourrait accélérer une transformation profonde du secteur. Rystad Energy

Conclusion — une transition systémique
Le défi est technique, industriel et politique. Il ne s’agit pas d’un « remplaçant » unique du béton Portland, mais d’une **palette de solutions** combinées : ciments à faible clinker (LC3 et autres SCM), géopolymères, matériaux biosourcés pour fonctions spécifiques, optimisation de l’usage du matériau, et CCUS pour les émissions inévitables. Les décisions prises dans la décennie 2025–2035 (réglementation, financement, démonstrateurs industriels) détermineront si le secteur parviendra à une trajectoire compatible avec des objectifs climatiques ambitius pour 2040–2050. Les signes d’accélération sont réels, mais la vitesse de déploiement dépendra d’un engagement concerté entre industriels, États et marchés. Rystad Energy

6. La crise de l’hydroélectricité

6.1 Sécheresses, barrages et perte de puissance hydraulique

L'hydroélectricité, longtemps considérée comme la pierre angulaire des politiques énergétiques bas-carbone, traverse aujourd'hui une crise silencieuse mais profonde. Autrefois symbole de stabilité et de souveraineté énergétique, elle se trouve fragilisée par les sécheresses chroniques, le changement climatique, la sédimentation des réservoirs et les tensions géopolitiques autour de la gestion de l'eau. Entre 2040 et 2050, cette crise pourrait devenir l'un des marqueurs les plus visibles de la fin de l'abondance énergétique et hydrique, remettant en cause un modèle vieux de plus d'un siècle.

La fragilité d'un colosse hydraulique

À l'échelle mondiale, l'hydroélectricité représente environ 16 % de la production d'électricité, mais plus de 60 % des capacités renouvelables installées. Cette domination apparente masque une dépendance extrême aux cycles hydrologiques. Les sécheresses prolongées — désormais plus fréquentes et plus intenses — réduisent les volumes d'eau disponibles dans les bassins fluviaux, entraînant une baisse drastique de la puissance générée. Des études de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et de Rystad Energy montrent que les pertes moyennes de production hydroélectrique atteignent déjà 10 à 20 % dans certaines régions d'Amérique du Sud, d'Afrique de l'Est, du sud de l'Europe et du sud-ouest des États-Unis, avec

des épisodes critiques où la capacité effective tombe à moins de la moitié de la capacité nominale.

La raréfaction de l'eau touche de plein fouet les mégabarrages construits au XX^{e} siècle — comme Itaipú, Hoover, Kariba, ou le barrage des Trois-Gorges — qui ont vu leur réservoir atteindre des niveaux historiquement bas au cours des années 2020 et 2030. En 2023, la Californie, la Chine centrale et le Brésil ont dû rationner la production hydroélectrique pour préserver les réserves d'eau potable et agricoles. Entre 2035 et 2045, plusieurs projections du *Global Hydropower Outlook* anticipent une perte moyenne de 25 à 40 % de rendement dans les bassins les plus exposés, notamment ceux soumis à la fonte irrégulière des glaciers ou à la désertification.

Les sécheresses comme menace structurelle

La multiplication des années de sécheresse n'est plus un simple aléa climatique : elle devient structurelle. La fonte des glaciers andins, alpins et himalayens — qui alimentent une grande partie des systèmes fluviaux mondiaux — réduit le débit saisonnier des rivières et raccourcit la période de recharge des réservoirs. Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2023), plus de 70 % des grands bassins hydrographiques du monde connaîtront une variabilité accrue du débit d'ici 2050, avec des conséquences directes sur la production énergétique, l'agriculture et la sécurité hydrique.

Dans des régions comme le Sahel, la Méditerranée, la Californie ou le plateau tibétain, la baisse du ruissellement

s’ajoute à l’augmentation des températures et à l’évaporation des réservoirs. Certains barrages perdent jusqu’à 10 % de leur volume utile chaque décennie. Par ailleurs, les réservoirs anciens s’envasent progressivement, réduisant leur capacité de stockage. En Afrique australe, le barrage de Kariba, jadis un des plus puissants du continent, a vu sa puissance disponible chuter de 50 % lors des années de sécheresse 2019–2024.

Conflits et tensions autour des bassins partagés

À la crise physique s’ajoute une crise géopolitique. Les barrages géants érigés sur des fleuves transfrontaliers — tels que le Nil, le Mékong, l’Indus ou l’Amazone — deviennent des foyers de tension entre États voisins. Le barrage de la Renaissance, en Éthiopie, a exacerbé les rivalités hydriques avec l’Égypte et le Soudan, tandis que la Chine est accusée d’accroître la vulnérabilité du Mékong en régulant unilatéralement les débits en amont. Le contrôle de l’eau se transforme ainsi en levier politique et énergétique, une forme de « diplomatie hydraulique » qui pourrait, selon Rystad Energy (2024), devenir un facteur de déséquilibre régional majeur d’ici 2040.

Une perte de puissance énergétique et financière

Les conséquences de ces bouleversements dépassent la seule sphère environnementale. L’hydroélectricité, pilier de la flexibilité du réseau dans de nombreux pays, se trouve désormais concurrencée par les systèmes solaires et éoliens de nouvelle génération. Mais ces derniers nécessitent à leur tour

des capacités de stockage ou des centrales de secours pour pallier l'intermittence. La baisse de la fiabilité hydraulique crée donc un effet domino : hausse des coûts d'équilibrage, recours accru au gaz naturel ou aux batteries à grande échelle, et fragilisation des finances publiques pour les pays dépendants des revenus hydroélectriques (comme le Paraguay, la Norvège, le Laos ou le Bhoutan).

Dans plusieurs scénarios de Rystad Energy, la puissance installée mondiale pourrait stagner autour de 1 400 GW entre 2040 et 2050, alors que la demande d'électricité croît de 30 %. L'hydroélectricité deviendrait ainsi une source d'énergie secondaire, utile mais non dominante, et fortement soumise aux variations climatiques.

Vers des solutions d'adaptation

Pour atténuer cette crise, plusieurs voies émergent. L'optimisation numérique des barrages (capteurs hydrologiques, modélisation IA des flux, maintenance prédictive), la reforestation des bassins versants, et la coordination internationale sur le partage de l'eau sont autant de leviers de résilience. Certains pays développent des barrages hybrides combinant hydroélectricité et solaire flottant, afin de limiter l'évaporation et d'augmenter la production durant les périodes de sécheresse. La micro-hydroélectricité, les systèmes run-of-river sans grands réservoirs et la valorisation énergétique des retenues existantes pourraient compenser partiellement la perte de puissance des mégastructures.

Mais ces solutions restent insuffisantes sans une refonte de la gouvernance hydrique mondiale. Entre 2040 et 2050, la coopération entre États et la gestion intégrée des ressources en eau seront déterminantes pour prévenir une véritable « crise bleue » — énergétique, écologique et politique — dans un monde où l'eau devient une ressource aussi stratégique que le pétrole l'a été au XX^{e} siècle.

6.2 Le paradoxe des énergies renouvelables

Alors que l'humanité accélère sa transition vers un modèle énergétique fondé sur les énergies renouvelables, un paradoxe profond se dessine : les technologies censées libérer le monde de la dépendance au carbone entraînent de nouvelles dépendances — économiques, géopolitiques et environnementales. Ce paradoxe des énergies renouvelables réside dans le fait qu'en cherchant à sauver le climat, nous déplaçons les contraintes plutôt que de les abolir. À l'horizon 2040–2050, la promesse d'un monde « propre » et « infini » en énergie se heurte aux réalités matérielles : pénuries de métaux critiques, tensions sur l'eau, empreinte écologique des infrastructures et fragilité des chaînes d'approvisionnement mondiales.

La promesse d'un monde décarboné

Depuis le début des années 2020, l'expansion des énergies renouvelables — solaire, éolienne, hydraulique, géothermique et marine — a constitué la plus grande transformation industrielle du siècle. Selon **Rystad Energy (2024)**, plus de 80 % des nouvelles capacités électriques installées en 2035 provenaient déjà de sources renouvelables. Les coûts du solaire photovoltaïque ont chuté de plus de 90 % en trente ans, et l'éolien en mer a vu son rendement énergétique croître de près de 50 % grâce aux turbines géantes et à l'intelligence artificielle prédictive. Cette transition semblait sceller la fin des énergies fossiles.

Mais l’essor des renouvelables a révélé un nouveau type de vulnérabilité : la dépendance systémique à des matériaux, à des ressources naturelles et à des technologies de pointe, souvent concentrées entre les mains de quelques pays.

Le coût caché des métaux et minéraux critiques

Chaque mégawatt d’énergie renouvelable exige une quantité considérable de métaux : cuivre, lithium, nickel, cobalt, manganèse, graphite, terres rares… La Banque mondiale estime que la demande mondiale en minéraux critiques sera multipliée par 4 à 6 d’ici 2050 pour répondre aux besoins des batteries, éoliennes, panneaux solaires et réseaux électriques.

Ce boom minier pose plusieurs problèmes :

- **Concentration géopolitique** : plus de 70 % de la production de cobalt provient de la République démocratique du Congo, tandis que la Chine contrôle plus de 80 % du raffinage mondial des terres rares. Cette asymétrie crée une nouvelle dépendance stratégique, comparable à celle du pétrole au XX^{e} siècle.
- **Empreinte écologique** : extraction intensive, pollution de l’eau, déforestation, et déchets miniers toxiques — notamment au Chili, en Indonésie ou en Chine — viennent contredire l’image verte des technologies renouvelables.

- **Risque de “goulets d’étranglement”** : les tensions commerciales, les restrictions à l’exportation (comme celles imposées par Pékin sur le gallium et le germanium en 2024) et la lenteur du développement de nouvelles mines risquent de freiner la transition.

Ainsi, la décarbonation de l’économie ne signifie pas une démétallisation : elle en accroît au contraire la complexité et la dépendance.

Intermittence et paradoxes d’intégration

L’un des défis structurels des renouvelables est leur intermittence. Le soleil et le vent sont variables et imprévisibles, rendant nécessaire un stockage massif de l’énergie ou une interconnexion continentale des réseaux. Cette variabilité conduit paradoxalement à un retour ponctuel des centrales fossiles pour garantir la stabilité électrique. En Europe et en Amérique du Nord, plusieurs hivers (notamment 2025–2030) ont montré que les réseaux saturés d’énergie intermittente nécessitaient encore du gaz naturel pour éviter les blackouts.

Les **batteries géantes**, le **stockage hydraulique par pompage**, et l’**hydrogène vert** ont été présentés comme les solutions à cette contrainte, mais leurs coûts et leur intensité matérielle restent élevés. À titre d’exemple, la production d’une tonne d’hydrogène vert requiert environ 9 tonnes d’eau pure et une grande quantité d’électricité renouvelable, créant de nouveaux dilemmes dans les zones arides.

L’eau, ressource critique des renouvelables

L’autre face du paradoxe est hydrique. Le solaire thermique, l’hydrogène vert, le raffinage du lithium, ou encore la fabrication des panneaux photovoltaïques nécessitent tous d’importantes quantités d’eau. Dans les régions déjà soumises à des tensions hydriques — comme le Chili, la Namibie, le Maroc ou certaines zones de la Chine — les conflits d’usage entre agriculture, population et production énergétique se multiplient.

Ce lien entre énergie et eau crée un cercle vicieux : plus la planète se réchauffe et se dessèche, plus les infrastructures renouvelables exigent d’eau pour fonctionner et être produites. L’hydroélectricité, déjà menacée par les sécheresses (section 6.1), perd ainsi son rôle stabilisateur au moment même où l’intermittence des autres sources augmente.

Dépendance technologique et fracture Nord-Sud

La transition énergétique a aussi révélé une fracture géopolitique. Le Nord industriel — Europe, Amérique du Nord, Asie de l’Est — possède les technologies, le capital et la capacité d’investissement nécessaires à la production de masse d’énergies renouvelables. Le Sud, en revanche, détient la majorité des ressources minières et des zones d’ensoleillement ou de vent.

Ce déséquilibre crée un nouveau type de colonialisme énergétique, qualifié par certains économistes de **“green colonialism”** : exploitation des ressources du Sud pour

alimenter la transition du Nord, sans que les populations locales bénéficient des infrastructures ou des revenus associés. Les tensions autour des mines de lithium dans le Triangle du lithium (Chili, Argentine, Bolivie) ou les projets solaires géants au Sahel illustrent cette dynamique.

Le paradoxe écologique : infrastructures vertes, empreinte grise

La multiplication des panneaux solaires, des éoliennes et des batteries génère de nouveaux défis écologiques : recyclage, déchets électroniques, et consommation d'espace. En 2040, on estime que les déchets solaires cumulés pourraient atteindre 80 millions de tonnes, tandis que les pales d'éoliennes, difficilement recyclables, s'accumulent dans des décharges géantes.

Certes, les émissions de CO_2 du cycle de vie des renouvelables restent bien inférieures à celles des fossiles, mais l'empreinte totale — en matériaux, en eau, et en territoires — remet en question leur durabilité réelle.

Une transition à double tranchant

Ainsi, le paradoxe des renouvelables peut se résumer ainsi :

- Elles réduisent les émissions mais augmentent la demande en ressources.
- Elles décentralisent la production mais recentralisent le contrôle technologique.

- Elles promettent l’abondance énergétique mais accentuent la rareté matérielle.

Le monde de 2040–2050 ne sera pas celui d’une énergie gratuite et illimitée, mais celui d’un **équilibre fragile entre sobriété, innovation et gouvernance mondiale**. La réussite de cette transition dépendra moins de la quantité d’énergie produite que de la manière dont les ressources, les bénéfices et les risques seront répartis entre les nations.

232 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

6.3 L’avenir incertain des grands fleuves

Les grands fleuves du monde — Nil, Amazone, Mékong, Yangtsé, Danube, Indus, Congo, Colorado ou encore Tigre et Euphrate — ont façonné les civilisations humaines depuis des millénaires. Sources d’eau, d’énergie, de fertilité et de transport, ils ont été le cœur battant du développement humain. Mais au XXIe siècle, ces colosses naturels sont devenus des systèmes fragiles, surexploités et politiquement sensibles. Entre 2040 et 2050, leur avenir s’annonce plus incertain que jamais, à mesure que la combinaison du changement climatique, de la pression démographique et de la compétition énergétique en modifie profondément le fonctionnement.

Des fleuves au bord de l’épuisement

Depuis les années 2010, la majorité des grands bassins fluviaux ont subi une réduction importante de leur débit moyen. Selon l’**UNESCO (2024)** et le **World Resources Institute**, près de 60 % des grands fleuves connaissent aujourd’hui des épisodes d’assèchement saisonnier ou permanent.

Les causes sont multiples :

- **Changement climatique** : la fonte des glaciers, la diminution des pluies de mousson et la hausse des températures accélèrent l’évaporation.
- **Barrage et captation** : plus de 60 000 grands barrages dans le monde modifient le régime hydrologique

naturel, bloquent les sédiments et perturbent les écosystèmes.

- **Irrigation et urbanisation** : l'agriculture intensive et les villes en expansion captent une part croissante de l'eau fluviale, laissant peu pour les écosystèmes et les débits environnementaux.

Certains fleuves, comme le **Colorado**, ne parviennent plus à atteindre la mer une grande partie de l'année. Le **Nil Bleu**, le **Tigre**, ou le **Mékong** connaissent des fluctuations extrêmes de débit, fragilisant des millions de personnes dépendantes de leurs eaux.

Les grands fleuves face au changement climatique

Le réchauffement climatique amplifie les contrastes hydrologiques : sécheresses prolongées alternant avec des crues soudaines et dévastatrices. Ces événements extrêmes provoquent à la fois des pénuries et des destructions d'infrastructures.

- **Le Nil** : le barrage de la Renaissance (GERD) en Éthiopie, projeté comme symbole d'indépendance énergétique, est aussi devenu une source majeure de tension avec l'Égypte, dépendante à 95 % du fleuve. Les scénarios climatiques du GIEC (AR6, 2023) suggèrent une variabilité accrue du débit du Nil d'ici 2050, exacerbant le risque de conflit hydrique.

- **Le Mékong** : régulé par une succession de barrages chinois et laotien, il connaît une baisse drastique de sédiments et de nutriments, menaçant la sécurité alimentaire de 60 millions d'habitants.
- **L'Amazone** : poumon hydrique du continent sud-américain, il subit une déforestation massive qui altère son cycle hydrologique et accroît la fréquence des méga-sécheresses (2005, 2010, 2025).
- **Le Yangtsé et le fleuve Jaune** : essentiels pour la Chine, ils voient leur débit décliner sous l'effet de la pollution, du pompage agricole et du recul des glaciers tibétains.

Ces changements transforment les grands fleuves en systèmes instables, où les crues dévastatrices alternent avec des sécheresses record, perturbant les agricultures, les infrastructures hydroélectriques et les chaînes alimentaires mondiales.

Les barrages, symboles d'une ère révolue

Les mégabarrages du XX^{e} siècle — naguère symbole de progrès et de puissance nationale — apparaissent aujourd'hui comme des colosses vulnérables. L'accumulation de sédiments réduit leur capacité de stockage et leur efficacité énergétique, tandis que l'irrégularité des débits limite la production hydroélectrique.

En Chine, le barrage des **Trois-Gorges** a déjà perdu une partie de sa capacité utile, et ses effets sur les inondations en aval se révèlent ambivalents. En Afrique, le barrage de **Kariba**, partagé entre la Zambie et le Zimbabwe, connaît des arrêts de turbines prolongés faute d'eau. En Amérique du Sud, la baisse du niveau de l'Amazone a rendu certains barrages quasi inopérants pendant les saisons sèches.

Ces infrastructures, conçues pour un climat stable, ne sont plus adaptées à la variabilité actuelle. Leur maintenance devient coûteuse, et certains pays envisagent déjà le **démantèlement partiel** ou la **conversion des barrages en systèmes hybrides** (hydro-solaire, hydro-éolien) pour prolonger leur utilité tout en réduisant leur impact écologique.

Les fleuves comme enjeux géopolitiques

L'eau douce devient l'un des leviers géostratégiques du XXIe siècle. Le contrôle d'un fleuve équivaut souvent au contrôle de l'énergie, de l'agriculture et donc de la stabilité politique. Les tensions autour du Nil, du Tigre et de l'Euphrate, du Mékong et du Brahmapoutre préfigurent les **"hydro-conflits"** à venir.

- En **Afrique de l'Est**, l'Éthiopie, le Soudan et l'Égypte négocient sans parvenir à un accord durable sur le partage des eaux du Nil.
- En **Asie du Sud**, l'Inde et la Chine se disputent la gestion des fleuves issus du plateau tibétain, que Pékin considère comme une ressource stratégique.

- En **Amérique du Sud**, la baisse du débit du Paraná et du São Francisco affecte les exportations agricoles du Brésil et du Paraguay, sources de tensions régionales.

Le GIEC et la Banque mondiale estiment qu'en 2050, près de **3 milliards d'êtres humains vivront dans des bassins fluviaux partagés à haut risque de conflit hydrique**, si aucune gouvernance commune n'est instaurée.

Écosystèmes fluviaux en péril

Les fleuves ne sont pas seulement des réservoirs d'eau : ce sont des écosystèmes vivants. La fragmentation par les barrages, la pollution plastique et chimique, et la surexploitation des nappes détruisent la biodiversité aquatique à un rythme alarmant.

Selon le **WWF (2024)**, la biomasse des poissons d'eau douce a chuté de 83 % depuis 1970. Des espèces emblématiques comme le dauphin du Gange, le silure géant du Mékong ou le lamantin de l'Amazone sont en voie d'extinction. La disparition des zones humides associées (delta du Nil, Pantanal, delta du Mékong) réduit également la capacité naturelle de régulation du climat et des inondations.

Vers une nouvelle gouvernance de l'eau

Face à ces menaces, plusieurs initiatives émergent :

- **Traités de bassin** : renforcement des organisations comme la Commission du Mékong, l'Initiative du Bassin du Nil ou la Convention sur les cours d'eau transfrontaliers de l'ONU.

- **Diplomatie de l’eau** : accords bilatéraux visant à partager données, débits et projets énergétiques de manière transparente.
- **Solutions fondées sur la nature** : restauration des zones humides, reboisement des berges, gestion intégrée des bassins pour renforcer la résilience écologique.

Mais ces efforts restent limités par les rivalités nationales et les logiques économiques à court terme. Sans changement profond de paradigme, l’avenir des grands fleuves risque d’être marqué par un enchaînement de crises hydriques, énergétiques et humanitaires.

Un avenir liquide et incertain

L’avenir des grands fleuves symbolise l’avenir même de l’humanité face à la fin de l’abondance. Ces artères vitales, aujourd’hui affaiblies, ne peuvent plus supporter indéfiniment les charges combinées de la croissance, de la pollution et du climat. Entre 2040 et 2050, leur survie dépendra d’une redéfinition radicale du rapport de l’homme à l’eau — non plus comme une ressource à exploiter, mais comme un **bien commun planétaire**.

Les civilisations sont nées au bord des fleuves. Leur avenir, lui aussi, s’y jouera.

240 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Partie III – Les matières premières et la fin du plastique

7. Le plastique : symbole d’un monde à bout de souffle

(Rystad Energy, horizon 14 ans)

Depuis le milieu du XX^{e} siècle, le plastique est devenu l’un des matériaux les plus omniprésents et emblématiques de la civilisation moderne. Léger, résistant, malléable et peu coûteux, il a révolutionné l’industrie, la médecine, l’alimentation, la technologie et les transports. Pourtant, à l’aube de 2040-2050, il s’impose désormais comme le symbole d’un **monde à bout de souffle**, victime de sa propre dépendance aux hydrocarbures et de son incapacité à maîtriser les conséquences environnementales et sanitaires de ce matériau miracle.

Le lien entre pétrole et matière plastique

Le plastique, produit à 99 % à partir du pétrole, du gaz et du charbon, a été le reflet fidèle de l'ère de l'abondance énergétique. En 2020, plus de **400 millions de tonnes** de plastique étaient fabriquées chaque année, un chiffre qui a continué de croître jusqu'à la crise énergétique de la fin des années 2030.

Selon **Rystad Energy (2024)**, la demande mondiale de polymères — notamment de polyéthylène (PE), polypropylène (PP) et polytéréphtalate d'éthylène (PET) — représentait environ **14 % de la consommation totale de pétrole**. À ce rythme, l'industrie pétrochimique risquait de devenir le principal moteur de la demande d'hydrocarbures d'ici 2040, dépassant même celle des transports.

Mais la hausse des coûts énergétiques, les politiques climatiques, les restrictions environnementales et la crise des déchets ont brutalement freiné cette expansion. La production mondiale de plastique a atteint un **pic vers 2036**, marquant le début de la « déplastification » progressive de l'économie mondiale.

Les océans comme décharges planétaires

Les images d'océans saturés de microplastiques, de tortues étouffées par des sacs et de poissons contaminés ont marqué la conscience collective du XXIe siècle. Aujourd'hui, selon l'**UNEP (2025)**, plus de **170 000 milliards de fragments**

plastiques flottent dans les mers du globe, un poids équivalent à **2,3 millions de tonnes**.

Les microplastiques ne sont pas qu'un fléau esthétique ou écologique : ils constituent une menace sanitaire mondiale. Ils se retrouvent dans l'air, l'eau, le sol, le sang humain, et même dans le placenta des nouveau-nés. Leur impact sur la santé est encore mal compris, mais les premières études de l'**OMS (2024)** évoquent des risques d'inflammation chronique, de perturbations endocriniennes et de toxicité cellulaire.

Les océans, longtemps perçus comme des puits infinis d'absorption, ne peuvent plus jouer leur rôle de régulateurs. La « **plastification des mers** » est devenue l'un des marqueurs les plus tragiques de la crise écologique contemporaine.

L'illusion du recyclage

Le recyclage, longtemps présenté comme la solution miracle, s'est révélé un mirage partiel. À peine **9 %** du plastique produit dans le monde a été recyclé de manière efficace depuis 1950. Le reste a été incinéré, enfoui ou dispersé dans l'environnement.

Les plastiques à usage unique — emballages, gobelets, films alimentaires — constituent plus de **50 %** des déchets plastiques, mais sont souvent trop complexes pour être recyclés. Les filières de tri restent inadaptées, et les coûts énergétiques du recyclage dépassent souvent ceux de la production neuve, surtout en période de bas prix du pétrole.

Dans les années 2030, plusieurs pays ont interdit certains plastiques non recyclables, tandis que d'autres ont adopté la **redevance carbone sur les polymères fossiles**. Ces mesures ont favorisé la recherche sur les matériaux alternatifs, mais elles ont aussi mis en difficulté les industries dépendantes du plastique, notamment l'emballage, la logistique et la santé.

Les bioplastiques et polymères de nouvelle génération

Face à cette impasse, la décennie 2030-2040 a vu l'essor des **bioplastiques**, produits à partir d'amidon, de cellulose, d'algues ou de bactéries. Les grandes firmes chimiques, sous pression réglementaire, ont investi massivement dans la chimie verte et les procédés circulaires.

Les innovations les plus prometteuses incluent :

- **Les polyhydroxyalcanoates (PHA)** et **PLA**, biodégradables et compostables.
- Les **plastiques enzymatiques**, capables de se décomposer rapidement sous certaines conditions.
- Les **polymères circulaires**, conçus pour être recyclés chimiquement à l'infini.
- Les **biomatériaux hybrides**, associant lignine, chanvre ou mycélium à des résines naturelles.

Cependant, ces technologies restent limitées par leurs coûts, leurs besoins en terres agricoles, et leur performance inférieure à certains plastiques fossiles. Selon **Rystad Energy (2040**

scenario), même dans le meilleur des cas, les bioplastiques ne représenteraient que **25 à 30 %** du marché mondial en 2050.

Le choc économique et industriel

La fin de l'abondance pétrochimique a provoqué un **réajustement profond** des chaînes industrielles mondiales. Les pays exportateurs de pétrole ont perdu une partie de leurs revenus issus des produits dérivés. Les géants du plastique — souvent filiales de groupes énergétiques comme **ExxonMobil, Saudi Aramco, Sinopec ou TotalEnergies** — ont dû réorienter leurs investissements vers les matériaux biosourcés et la capture du carbone.

En parallèle, les industries manufacturières (automobile, électronique, construction) ont engagé une **transition vers des matériaux composites, recyclés ou biodégradables**. Le concept d'**économie circulaire** s'est imposé comme pilier de la durabilité industrielle.

Mais cette mutation a un coût : raréfaction des matières premières, explosion du prix des résines biosourcées, et inégalités entre pays riches et pauvres dans l'accès à ces innovations.

Le plastique comme symbole sociétal

Le plastique n'est plus seulement un matériau — il est devenu **un symbole du modèle économique linéaire** : produire, consommer, jeter. Sa prolifération incarne la culture de l'instantané, de l'éphémère et de l'hyperconsommation.

Dans les années 2040, de nombreux mouvements citoyens ont fait du **zéro plastique** une revendication politique et éthique, à l'image du végétarisme ou du refus du gaspillage. Les grandes métropoles — Paris, Montréal, Berlin, Tokyo — ont instauré des politiques locales d'interdiction totale des plastiques non recyclables.

Cette « **désintoxication matérielle** » traduit un changement de civilisation : la redécouverte de la durabilité, de la sobriété et des matériaux naturels.

Un monde post-plastique ?

L'avenir ne sera probablement pas sans plastique, mais il sera **avec moins de plastique, mieux utilisé et mieux géré**. Les avancées dans la capture du carbone, la polymérisation biologique et la circularité industrielle laissent espérer un usage plus sobre et responsable.

Le plastique, autrefois symbole de la modernité triomphante, devient désormais **l'archétype d'un monde en transition** — celui qui apprend, parfois douloureusement, à vivre dans les limites planétaires.

D'ici 2050, la production mondiale de plastique fossile pourrait être réduite de moitié, selon les scénarios bas carbone de Rystad Energy. Ce déclin ne signifierait pas une régression, mais la naissance d'une **nouvelle ère matérielle**, fondée sur la résilience, la réutilisation et la responsabilité.

250 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

7.1 Le lien entre pétrole et matière plastique

Le plastique et le pétrole forment depuis plus de soixante-dix ans un **couple indissociable** : l'un est la transformation chimique de l'autre, et tous deux incarnent le modèle d'une économie fondée sur l'abondance énergétique, la croissance illimitée et la consommation de masse. Comprendre ce lien, c'est saisir les racines profondes de la crise des matériaux et de la dépendance mondiale aux hydrocarbures — un pilier central de la fin de l'abondance annoncée par Rystad Energy à l'horizon 2040-2050.

Une origine commune : les hydrocarbures

Le plastique est issu du **raffinage du pétrole brut** ou du **gaz naturel**. Ces ressources fossiles contiennent des chaînes de carbone et d'hydrogène, les **hydrocarbures**, qui servent de matière première à la fabrication des **monomères**, puis des **polymères** — base chimique de tous les plastiques.

Le processus se déroule en plusieurs étapes :

1. **Distillation du pétrole brut** dans les raffineries pour obtenir des fractions légères comme l'éthane, le propane, le naphta et le butane.
2. **Craquage** de ces fractions dans les unités pétrochimiques à très haute température (800–900 °C), afin de rompre les chaînes d'hydrocarbures et de produire des molécules plus simples : **éthylène, propylène, butadiène, benzène, toluène**.

3. **Polymérisation** ou **polycondensation** de ces monomères pour former des plastiques :
    - Polyéthylène (PE) → sacs, bouteilles, emballages
    - Polypropylène (PP) → pièces automobiles, textiles
    - Polystyrène (PS) → emballages, isolants
    - Polytéréphtalate d'éthylène (PET) → bouteilles, fibres
    - PVC, polyuréthanes et autres polymères spécialisés

Chaque tonne de plastique nécessite environ **2 à 3 tonnes de pétrole équivalent énergie**, en comptant les intrants et la transformation industrielle. En 2020, l'industrie du plastique consommait environ **14 % du pétrole mondial** — un pourcentage qui devait dépasser 20 % sans les politiques de réduction mises en place après 2035.

Une dépendance énergétique structurelle

Le lien entre plastique et pétrole est à la fois **chimique et économique**.
La production pétrochimique dépend du prix du baril, mais elle influence aussi la stabilité de ce marché. Quand la demande en carburants baisse (comme ce fut le cas après la transition vers les véhicules électriques), les géants énergétiques se tournent vers la **pétrochimie** pour compenser leurs pertes.

Ainsi, selon **Rystad Energy (2024)**, les grandes compagnies pétrolières — ExxonMobil, Saudi Aramco, Sinopec, TotalEnergies, Shell — ont investi plus de **400 milliards de dollars** entre 2020 et 2035 dans des complexes pétrochimiques, principalement en Asie et au Moyen-Orient. Ces infrastructures ont soutenu artificiellement la demande de pétrole, retardant le déclin global des hydrocarbures.

Cette interdépendance a créé une **"économie plastique du pétrole"** :

- Lorsque le prix du baril est bas, la production de plastique explose.
- Lorsque le prix de l'énergie augmente, les coûts de production montent et le recyclage devient non compétitif.
- Et lorsque les politiques climatiques imposent des restrictions, les producteurs se tournent vers les pays émergents pour contourner les régulations.

Le plastique est donc devenu le **dernier refuge du pétrole**, sa transformation la plus durable, mais aussi la plus polluante à long terme.

Le rôle des sous-produits pétroliers

Contrairement à une idée répandue, le plastique ne résulte pas uniquement de l'utilisation directe du pétrole brut. Il provient aussi des **sous-produits du raffinage**, notamment du **naphta** et du **gaz de craquage**. Autrement dit, il est issu de ce que

l’industrie considère historiquement comme des “déchets utiles”.

Cette caractéristique a longtemps été présentée comme une forme d’efficacité énergétique — « rien ne se perd » dans le pétrole. En réalité, elle a **enraciné la dépendance** : plus on extrait de pétrole, plus on génère de sous-produits, et plus il devient “rationnel” économiquement de les transformer en plastique plutôt que de les laisser inutilisés.

C’est ce **cercle vicieux** qui a conduit à la prolifération mondiale des polymères, même dans les contextes où leur usage n’était pas nécessaire.

Le coût environnemental du lien pétrochimique

Le lien entre plastique et pétrole ne se limite pas à leur origine commune : il se prolonge dans leurs **impacts écologiques convergents**.

- **Extraction et raffinage** : émissions massives de CO_2, pollution des sols et de l’eau.
- **Production** : consommation énergétique colossale (jusqu’à 10 % de la demande industrielle mondiale).
- **Transport** : dépendance logistique au fuel fossile.
- **Fin de vie** : incinération (avec rejet de CO_2 et de dioxines) ou dégradation lente en microplastiques.

Selon **l’Agence internationale de l’énergie (AIE, 2023)**, la chaîne du plastique pourrait représenter **15 % des émissions**

mondiales de gaz à effet de serre d'ici 2050 si aucune mesure structurelle n'est prise.

En d'autres termes, la fin du plastique fossile est aussi une condition de la **décarbonation mondiale**. Tant que le plastique dépendra du pétrole, la neutralité carbone restera hors de portée.

L'effondrement progressif du modèle pétrochimique

La crise énergétique de la fin des années 2030, marquée par la raréfaction des ressources pétrolières conventionnelles et la montée du coût d'extraction, a frappé de plein fouet la pétrochimie.

Rystad Energy projette que d'ici **2038–2042**, la majorité des raffineries intégrées au plastique atteindront leur seuil de rentabilité critique. Parallèlement, la montée des **biomatériaux** et la réglementation sur les **plastiques fossiles** dans l'Union européenne, le Canada, le Japon et l'Australie ont entraîné une **érosion de la demande mondiale**.

Résultat :

- Les marges des producteurs de polymères fossiles se sont effondrées.
- Plusieurs complexes pétrochimiques ont été reconvertis en unités de **recyclage chimique** ou **de production de bioplastiques**.

- Certains pays exportateurs, comme l'Arabie saoudite ou le Qatar, ont cherché à se repositionner comme **leaders de la chimie circulaire**.

Le déclin de la pétrochimie, amorcé vers 2035, symbolise le **ralentissement global du modèle de croissance fossile** : un monde où l'énergie, la matière et la consommation ne peuvent plus croître sans contrainte.

Le lien rompu ? Vers la chimie sans pétrole

La véritable rupture du lien entre pétrole et plastique se jouera autour de trois innovations majeures :

1. **La chimie du carbone recyclé**, utilisant les déchets plastiques comme matière première.
2. **La capture et conversion du CO_2** en monomères synthétiques, grâce à l'électrochimie et à la biotechnologie.
3. **Les plastiques biosourcés**, dérivés de matières organiques renouvelables (algues, cellulose, bactéries).

Selon le scénario **Rystad Energy 2050 Net Zero**, ces technologies pourraient permettre de réduire de **60 % la dépendance du plastique au pétrole** d'ici 2050, à condition d'un investissement massif et d'une coopération mondiale.

L'objectif n'est plus simplement de recycler ou de réduire, mais de **reconstruire la matière à partir du carbone capturé**, fermant ainsi la boucle énergétique et matérielle.

258 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

7.2 Le recyclage mondial en échec

En 2040, le rêve d'un monde circulaire, où le plastique serait collecté, trié et réutilisé à l'infini, apparaît comme un mirage brisé. Malgré les promesses des grandes entreprises et les politiques publiques de plus en plus contraignantes, la réalité du recyclage mondial s'impose comme un échec technique, économique et géopolitique. Selon les projections de **Rystad Energy (2024)**, la production mondiale de plastique pourrait encore croître de **30 % d'ici 2038**, portée par la demande en emballages, matériaux médicaux et composants électroniques — alors même que les capacités de recyclage stagnent ou régressent dans plusieurs régions du monde.

Le premier facteur d'échec réside dans la **complexité chimique du plastique** moderne. La multiplication des polymères, additifs, colorants et agents stabilisants rend le tri quasi impossible à grande échelle. Sur les dizaines de milliards de tonnes de plastique produites depuis les années 1950, moins de **10 % ont réellement été recyclées** sous une forme équivalente. La plupart des plastiques recyclés deviennent des produits de moindre qualité — sacs, textiles, ou matériaux composites — voués à un second cycle de vie limité. Ce phénomène, appelé *downcycling*, détruit le principe même d'économie circulaire.

Le deuxième facteur est **économique**. Le recyclage reste beaucoup plus coûteux que la production de plastique vierge issue du pétrole. Avec un baril oscillant entre **60 et 90 dollars** au cours des années 2030, la matière première fossile demeure

plus abordable, surtout dans un contexte de crise énergétique où les États cherchent à relancer leurs industries. Les subventions publiques, quant à elles, ont souvent été mal orientées : soutenant la collecte ou la communication, plutôt que la recherche sur les polymères réellement recyclables.

À cela s'ajoute un **paradoxe mondial** : les pays les plus riches exportent leurs déchets plastiques vers les pays du Sud, où les infrastructures de traitement sont insuffisantes. En 2025 déjà, des pays comme la Malaisie, l'Indonésie et la Turquie ont commencé à refuser ces importations. Mais les déchets ont simplement trouvé d'autres routes, plus discrètes, vers des zones grises du commerce mondial. Le recyclage devient alors un commerce opaque, souvent contrôlé par des réseaux informels, où le plastique finit brûlé ou enfoui, libérant du CO_2 et des microplastiques dans les sols.

Les **innovations technologiques** n'ont pas non plus tenu leurs promesses. Le recyclage chimique, censé décomposer les plastiques en leurs monomères d'origine, se heurte à des coûts énergétiques faramineux et à une empreinte carbone encore supérieure à celle de la production classique. Les procédés enzymatiques ou biologiques, bien que prometteurs en laboratoire, peinent à dépasser l'échelle pilote. En 2040, ces technologies couvrent à peine **1 % du flux mondial de déchets plastiques**.

La conséquence de cet échec est double : d'une part, une **crise environnementale** liée à la pollution persistante des océans, des sols et de la chaîne alimentaire ; d'autre part, une **crise**

sociale et géopolitique autour de la gestion des déchets. Des millions de personnes dans les pays émergents vivent de la récupération informelle du plastique, dans des conditions sanitaires désastreuses. Le plastique, matériau du progrès au XX^{e} siècle, devient ainsi au XXI^{e} celui de la précarité et de la désillusion.

Enfin, Rystad Energy anticipe qu'à l'horizon **2039-2040**, la demande en plastique pourrait atteindre un **plateau structurel**, non pas en raison du succès du recyclage, mais à cause des **restrictions réglementaires**, de la **saturation des marchés** et de la **rareté du pétrole bon marché**. Le monde entre alors dans une nouvelle ère : celle où la pénurie d'hydrocarbures n'entraîne pas seulement une crise énergétique, mais une crise des matériaux eux-mêmes.

7.3 Les plastiques biodégradables : une illusion verte ?

Au tournant des années 2030, alors que la crise du recyclage mondial s'accentue et que la pression environnementale devient insoutenable, les plastiques dits *biodégradables* et *compostables* s'imposent dans le discours public comme la solution miracle. Promus par l'industrie comme une alternative durable au plastique pétrosourcé, ces matériaux prétendent se décomposer naturellement dans l'environnement, réduisant ainsi la pollution. Pourtant, cette promesse s'avère, dans les faits, une illusion verte — un mirage industriel soigneusement entretenu dans un monde à bout de souffle.

Les chiffres sont clairs : selon les projections de **Rystad Energy (2024)**, la production mondiale de plastiques biodégradables, bien que multipliée par cinq entre 2020 et 2035, ne représentera toujours **que 2 à 3 % du total des plastiques produits**. Leur faible part tient à plusieurs obstacles majeurs : coût élevé, performance technique inférieure, et confusion réglementaire autour de la notion même de *biodégradabilité*.

En effet, la plupart de ces plastiques ne sont **pas réellement biodégradables dans la nature**. Ils nécessitent des conditions industrielles précises : température contrôlée, humidité, oxygène et micro-organismes spécifiques. En dehors de ces environnements, un gobelet ou un sac compostable peut persister **plusieurs décennies** dans le sol ou l'océan, se

fragmentant en microplastiques tout aussi persistants que ceux issus du pétrole. Les études menées par le **Programme des Nations unies pour l'environnement (UNEP, 2023)** démontrent que **plus de 80 %** des produits étiquetés *biodégradables* finissent dans des décharges classiques ou dans la nature, faute d'infrastructures adaptées.

Sur le plan chimique, nombre de bioplastiques, tels que le **PLA (acide polylactique)** ou le **PHA (polyhydroxyalcanoate)**, proviennent de ressources agricoles comme le maïs, la canne à sucre ou les betteraves. Si leur origine semble plus verte, leur **empreinte écologique** reste lourde : utilisation massive de terres cultivables, consommation d'eau, d'engrais azotés et d'énergie fossile pour la transformation. Dans un monde où la sécurité alimentaire est déjà menacée par les sécheresses et la raréfaction des sols, substituer le pétrole par le maïs pour produire des plastiques apparaît comme un non-sens écologique et éthique.

Le **marketing vert** a également brouillé les frontières entre *biosourcé* et *biodégradable*. De nombreux plastiques dits *écologiques* sont simplement produits à partir de biomasse, mais possèdent une structure moléculaire identique au plastique fossile — donc tout aussi persistante dans l'environnement. Ce flou sémantique entretient la confusion des consommateurs et permet à certaines entreprises de pratiquer le **greenwashing** à grande échelle, en multipliant les labels trompeurs et les slogans rassurants.

Sur le plan industriel, la promesse du compostage domestique se heurte à une réalité technique et logistique. Très peu de municipalités disposent de filières capables de trier et traiter correctement les plastiques compostables. Dans la plupart des cas, ces déchets finissent mélangés aux plastiques conventionnels, rendant le recyclage de l'ensemble du lot impossible. Ainsi, au lieu d'une transition écologique, le biodégradable contribue à la **désorganisation du système existant**, tout en entretenant l'illusion d'un progrès.

L'autre impasse de ces matériaux réside dans leur **durabilité mécanique**. Moins résistants à la chaleur, à l'humidité et aux chocs, les bioplastiques ne peuvent remplacer le plastique conventionnel dans de nombreux secteurs stratégiques : médical, automobile, électronique, spatial. À l'horizon 2040, malgré les avancées en polymères hybrides et nanocomposites, leur part de marché reste marginale.

Enfin, le concept même de biodégradabilité interroge notre rapport à la consommation. Ces matériaux, présentés comme "inoffensifs", **déculpabilisent l'acte de jeter**. En croyant que leur emballage disparaîtra de lui-même, les consommateurs maintiennent un mode de vie fondé sur l'usage unique, retardant ainsi la nécessaire mutation vers la sobriété matérielle.

Le monde de 2040-2050 découvre alors que le problème du plastique n'est pas seulement chimique, mais **philosophique** : il s'agit moins de remplacer un matériau par un autre que de repenser entièrement la logique du jetable. Les plastiques

biodégradables, loin d’être une solution, auront été une étape transitoire, révélant notre difficulté à affronter la racine du problème — une économie dépendante de la surproduction et de l’illusion de l’abondance.

268 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

8. Métaux critiques et terres rares : l’autre face de la transition verte

À mesure que le monde se détourne des énergies fossiles, une autre dépendance s’installe, plus discrète mais tout aussi redoutable : celle des métaux critiques et des terres rares. Cette nouvelle ère énergétique, censée être propre et durable, repose paradoxalement sur l’extraction massive de ressources minérales limitées, concentrées dans quelques régions géopolitiquement instables. Ainsi, derrière les promesses de la transition verte, se dessine un nouvel âge de tensions, de pollution et de rareté.

Selon **Rystad Energy (2024)**, la demande mondiale en métaux critiques — lithium, cobalt, nickel, cuivre, graphite, manganèse et terres rares — pourrait **tripler d’ici 2040**, entraînée par l’essor des batteries électriques, des éoliennes, des panneaux solaires, et des réseaux électriques intelligents. Cette explosion de la demande menace d’engendrer une crise d’approvisionnement comparable, voire plus grave, que celle du pétrole au XX^{e} siècle.

Une dépendance technologique massive

Les technologies dites “propres” sont loin d’être immatérielles. Chaque **voiture électrique** contient environ **200 kg de métaux critiques**, dont du lithium pour les batteries, du cobalt et du nickel pour les cathodes, du cuivre pour le câblage, et des terres rares pour les moteurs à aimants permanents. Une

éolienne offshore de 10 MW nécessite jusqu'à **2 tonnes de néodyme et de dysprosium**, tandis qu'un seul **panneau solaire** requiert de l'indium, du gallium et du tellurium — des métaux dont les réserves exploitables sont limitées.

Cette dépendance matérielle fait émerger une **nouvelle hiérarchie énergétique**. Là où le pétrole a autrefois donné le pouvoir au Moyen-Orient, les métaux critiques confèrent aujourd'hui une position stratégique à la **Chine**, à la **République démocratique du Congo**, à la **Bolivie**, au **Chili** et à certains pays africains et asiatiques. Pékin, en particulier, contrôle **près de 70 %** de la production mondiale de terres rares et plus de **80 % de leur raffinage**, un quasi-monopole qui inquiète les États-Unis et l'Europe.

Les coûts environnementaux cachés

L'extraction de ces métaux dits "verts" n'a rien de propre. En Chine, au Myanmar, au Congo ou au Chili, les mines de terres rares, de lithium ou de cobalt détruisent les écosystèmes, polluent les sols et les nappes phréatiques, et exposent les populations locales à des **risques sanitaires majeurs**. Pour produire une tonne de terres rares, il faut extraire jusqu'à **1 000 tonnes de roche**, générant d'immenses quantités de boues toxiques et de déchets radioactifs.

La production de **lithium**, ressource essentielle pour les batteries, consomme d'énormes volumes d'eau. Dans le **Salar d'Atacama** (Chili), l'exploitation des salars a entraîné un assèchement progressif des zones humides, menaçant la

biodiversité et les populations autochtones. L'ironie est saisissante : pour électrifier le monde, l'humanité vide ses nappes phréatiques.

Une guerre économique et géopolitique

À l'horizon 2040, la course aux métaux critiques est devenue une véritable **guerre économique mondiale**. Les grandes puissances multiplient les stratégies d'influence : accords miniers, nationalisations, espionnage industriel et alliances stratégiques. Les États-Unis cherchent à relocaliser la production de lithium au Nevada et à sécuriser le cobalt africain via des partenariats militaires. L'Union européenne, de son côté, a lancé un **Critical Raw Materials Act (2024)** pour réduire sa dépendance à la Chine, mais peine à rivaliser sur le plan économique.

Rystad Energy estime qu'en l'absence d'un recyclage massif et d'une diversification des sources, la pénurie de certains métaux critiques — notamment le cobalt et le dysprosium — pourrait survenir **dès 2035**, provoquant une flambée des prix et un ralentissement brutal de la transition énergétique.

Vers une nouvelle crise de ressources

Les scénarios les plus pessimistes évoquent une **transition énergétique à deux vitesses** : les pays riches, capables d'assurer leur approvisionnement en métaux critiques, poursuivent leur électrification, tandis que les pays pauvres restent dépendants du charbon, du gaz ou du pétrole.

L’injustice climatique se double alors d’une **injustice minérale**.

Certaines innovations tentent d’atténuer cette dépendance : batteries sans cobalt, moteurs sans terres rares, recyclage avancé des métaux, ou encore exploitation minière des fonds marins. Mais ces pistes soulèvent d’autres dilemmes écologiques. L’extraction en eaux profondes, par exemple, menace des écosystèmes marins encore méconnus et pourrait relâcher d’immenses quantités de CO_2 piégées dans les sédiments.

Ainsi, la promesse d’un avenir “vert” se heurte à un constat implacable : **la transition énergétique n’abolit pas la logique extractiviste**, elle la transforme. Là où hier nous forions le pétrole, demain nous creuserons plus profondément encore pour des métaux. L’humanité, en quête d’un monde décarboné, semble avoir oublié que chaque kilowatt “propre” porte en lui une empreinte matérielle.

L’enjeu des décennies à venir ne sera donc pas seulement de produire de l’énergie sans carbone, mais de **concevoir une société capable de réduire sa faim insatiable de ressources**. Sans cela, la fin du pétrole ne signifiera pas la fin de l’exploitation, mais simplement le début d’une nouvelle ère de rareté — celle des métaux critiques, symboles de la dépendance du XXI^{e} siècle.

274 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

8.1 Lithium, cobalt, nickel : la nouvelle dépendance mondiale

Dans les décennies qui suivent la crise pétrolière du XXIe siècle, le monde se tourne résolument vers l'électrification : véhicules électriques, batteries stationnaires, réseaux intelligents, stockage domestique. Cette transition, présentée comme une rupture radicale avec le passé fossile, repose cependant sur une nouvelle triade stratégique — **le lithium, le cobalt et le nickel** — dont la demande explose de manière vertigineuse. En 2040, selon **Rystad Energy (2024)**, la consommation mondiale de ces trois métaux aura été multipliée par **quatre à cinq** par rapport à 2020, au point de créer une dépendance structurelle comparable à celle du pétrole au siècle précédent.

Le lithium : l'or blanc des Andes et de la géopolitique

Longtemps ignoré, le **lithium** est devenu en moins de deux décennies l'un des minéraux les plus convoités du monde. Il est au cœur de la batterie lithium-ion, indispensable à la mobilité électrique et au stockage d'énergie renouvelable. Le "triangle du lithium" — **Chili, Argentine, Bolivie** — concentre plus de **55 % des réserves mondiales**. Ces trois pays détiennent donc une puissance stratégique comparable à celle de l'OPEP en son temps.

Mais cette manne a un coût environnemental et social colossal. L'extraction du lithium, notamment dans les salars d'Atacama et de Uyuni, nécessite des quantités d'eau astronomiques :

jusqu'à **2 millions de litres par tonne** de lithium extrait. Dans des régions arides déjà frappées par le changement climatique, cette surexploitation provoque un effondrement des nappes phréatiques, la disparition de zones humides et la migration forcée de communautés autochtones. Les gouvernements sud-américains, pris entre impératif économique et catastrophe écologique, peinent à imposer une régulation durable.

À l'horizon **2035–2040**, la raréfaction de l'eau et l'instabilité politique menacent la continuité des approvisionnements. Des pays comme la Chine et les États-Unis investissent massivement dans le **lithium australien**, les gisements africains (Zimbabwe, Namibie) et les technologies d'extraction directe (DLE – *Direct Lithium Extraction*), moins polluantes mais encore expérimentales. La compétition pour le contrôle de "l'or blanc" prend ainsi des allures de **nouvelle guerre des ressources**.

Le cobalt : une chaîne d'approvisionnement sous tension

Le **cobalt**, quant à lui, est un métal stratégique pour la stabilité et la densité énergétique des batteries. Plus de **70 % de la production mondiale** provient d'un seul pays : la **République démocratique du Congo (RDC)**. Cette concentration géographique extrême expose la transition énergétique à des risques éthiques et géopolitiques considérables.

Les conditions d'extraction y sont souvent dramatiques : **travail des enfants**, **exploitation informelle**, **pollution des sols**, et **conflits armés** financés par la vente de minerais. Les

multinationales, malgré des chartes de responsabilité, continuent de dépendre de cette filière opaque. L'Union européenne et les États-Unis ont multiplié les audits et initiatives de traçabilité, mais dans la pratique, la majorité du cobalt congolais transite encore par des chaînes d'approvisionnement difficiles à certifier.

Pour réduire cette dépendance, les constructeurs automobiles et les géants des batteries — Tesla, CATL, LG Energy Solution — cherchent à développer des **batteries sans cobalt** (LFP – *Lithium Fer Phosphate*). Mais ces technologies, moins performantes en autonomie, ne suffisent pas à combler la demande mondiale. Ainsi, même en 2040, le cobalt reste **irremplaçable** pour certaines applications à haute densité énergétique.

Le nickel : métal clé de la performance énergétique

Le **nickel**, bien connu pour ses usages métallurgiques, est devenu un pilier de la transition énergétique. Dans les batteries de nouvelle génération (NMC – *Nickel Manganèse Cobalt*), il permet d'augmenter la densité énergétique et l'autonomie. Mais cette croissance de la demande entraîne une tension inédite sur les gisements mondiaux, en particulier en **Indonésie**, aux **Philippines**, au **Canada** et en **Russie**.

L'Indonésie, premier producteur mondial, a nationalisé partiellement son industrie et instauré une **interdiction d'exportation de minerai brut** dès 2020, forçant les multinationales à investir localement dans le raffinage. Cette

stratégie, payante à court terme, a renforcé la dépendance des chaînes de valeur à l'Asie du Sud-Est et à la Chine, qui contrôle une grande partie du traitement du nickel via des procédés très polluants, notamment la **pyrométallurgie** et la **HPAL (High-Pressure Acid Leaching)**. Ces technologies libèrent d'importantes émissions de CO_2 et de déchets acides, contredisant les objectifs de neutralité carbone affichés par les États.

À mesure que les réserves à haute teneur s'épuisent, les exploitants se tournent vers des minerais latéritiques plus difficiles à traiter, augmentant les coûts et l'empreinte environnementale. Rystad Energy prévoit que, d'ici **2038**, le prix du nickel pourrait **tripler**, déclenchant une nouvelle vague de spéculation et de nationalisations minières.

Une dépendance systémique, difficile à rompre

Le lithium, le cobalt et le nickel illustrent la **nouvelle dépendance mondiale** : une dépendance non plus énergétique, mais **minérale**. Chaque grande puissance tente d'assurer son autonomie par des partenariats bilatéraux, la relocalisation partielle des chaînes de valeur, et le recyclage des métaux contenus dans les batteries usagées. Toutefois, ce recyclage reste limité : en 2040, moins de **25 % des métaux critiques** sont effectivement récupérés, faute d'infrastructures et de rentabilité.

Les tensions autour de ces métaux redéfinissent la géopolitique du XXI^{e} siècle. Le Moyen-Orient n'est plus au centre des

rivalités énergétiques — ce sont désormais les Andes, l'Afrique centrale, l'Asie du Sud-Est et l'Australie qui deviennent les nouveaux foyers stratégiques. La transition verte, censée nous libérer du pétrole, crée une **nouvelle cartographie de la dépendance**, tout aussi fragile, tout aussi inégalitaire.

8.2 Les guerres minières du XXIe siècle

Introduction : l'avènement de la géopolitique des métaux

Le XXIe siècle a vu naître un nouveau champ de confrontation stratégique : celui des métaux critiques. Alors que les hydrocarbures dominaient la scène géopolitique du XXe siècle, ce sont désormais le lithium, le cobalt, le nickel, le cuivre, le graphite ou encore les terres rares qui déterminent la puissance économique et technologique des nations. Ces ressources, essentielles à la transition énergétique et numérique, alimentent les batteries, les éoliennes, les panneaux solaires, les semi-conducteurs et les technologies de défense. Leur rareté, leur concentration géographique et la complexité de leur extraction en font des leviers de pouvoir comparables au pétrole d'antan.

Le concept de « guerres minières » ne renvoie pas nécessairement à des conflits armés directs, mais à une lutte d'influence, d'accès et de contrôle des chaînes d'approvisionnement. Cette rivalité oppose désormais blocs et continents — la Chine, les États-Unis, l'Union européenne, mais aussi les puissances émergentes d'Afrique et d'Amérique du Sud — dans une course au monopole technologique.

De la dépendance pétrolière à la dépendance minérale

La transition énergétique, censée libérer le monde des hydrocarbures, a paradoxalement engendré une nouvelle dépendance. Les technologies bas carbone requièrent des quantités massives de métaux. Une voiture électrique contient

environ six fois plus de ressources minérales qu'un véhicule thermique, tandis qu'une éolienne offshore peut nécessiter plusieurs tonnes de cuivre et de terres rares.

Selon Rystad Energy, la demande mondiale en cuivre, lithium, nickel et cobalt devrait tripler d'ici 2040, dépassant les capacités actuelles d'extraction. L'économie « verte » repose ainsi sur des matériaux dont l'exploitation reste énergivore, polluante et politiquement sensible. Cette situation crée un paradoxe fondamental : le monde cherche à se décarboner, mais s'enferme dans une dépendance accrue envers des ressources non renouvelables, concentrées dans des zones politiquement instables.

Le monopole chinois : entre puissance et vulnérabilité

Depuis le début des années 2000, la Chine a méthodiquement construit un empire minier global. Elle contrôle plus de 60 % de la production mondiale de terres rares et près de 85 % de leur raffinage. Pékin a investi massivement dans les mines d'Afrique (notamment en République démocratique du Congo pour le cobalt), en Amérique du Sud (lithium du « triangle andin »), et en Asie centrale. Cette stratégie d'intégration verticale lui confère une position dominante dans les chaînes de valeur des technologies vertes.

Les États-Unis et l'Union européenne, longtemps dépendants des importations chinoises, ont pris conscience de leur vulnérabilité stratégique. L'embargo partiel imposé par Pékin sur les terres rares à destination du Japon en 2010 a servi

d’avertissement. Depuis, Washington et Bruxelles tentent de relocaliser la production, d’exploiter de nouveaux gisements (Nevada, Norvège, Groenland) et de développer le recyclage des métaux critiques. Mais la reconstitution d’une industrie minière complète prendra des décennies, d’autant que l’extraction est socialement contestée et écologiquement destructrice.

L’Afrique et l’Amérique du Sud : nouveaux terrains de rivalité

Les continents africain et sud-américain sont redevenus le centre des convoitises. En Afrique, la République démocratique du Congo détient environ 70 % du cobalt mondial, tandis que la Zambie, le Ghana et le Mozambique voient croître les investissements étrangers. En Amérique du Sud, le « triangle du lithium » (Argentine, Bolivie, Chili) abrite près de la moitié des réserves planétaires de ce métal.

Les puissances étrangères s’y affrontent par entreprises interposées : compagnies chinoises, australiennes, américaines et canadiennes se disputent les concessions. Les États locaux, quant à eux, oscillent entre la promesse de développement et la crainte d’une nouvelle dépendance extractiviste. La nationalisation du lithium en Bolivie ou au Mexique traduit cette volonté de reprendre la main sur des ressources stratégiques, souvent au prix de tensions diplomatiques.

Dans ce contexte, les guerres minières prennent la forme d’une « diplomatie des ressources », où les contrats, les

infrastructures et les alliances politiques remplacent les canons. Mais les rivalités latentes peuvent dégénérer : les tensions frontalières entre le Chili et la Bolivie, ou les conflits armés autour des mines congolaises, illustrent la fragilité de ces équilibres.

La militarisation des ressources

La dimension sécuritaire de la question minière s'affirme. Les grandes puissances intègrent désormais les métaux critiques à leur doctrine militaire. Les terres rares, par exemple, sont indispensables à la fabrication des systèmes radar, des missiles guidés, des satellites et des avions de chasse. La domination chinoise dans ce domaine inquiète profondément les états-majors occidentaux.

Les États-Unis ont classé plusieurs métaux parmi les « matériaux stratégiques de défense » et investi dans des réserves nationales. L'Union européenne a lancé en 2023 l'« European Critical Raw Materials Act » visant à sécuriser l'approvisionnement en diversifiant les sources et en accélérant les projets miniers sur le sol européen. Ces initiatives témoignent d'une course à la résilience qui n'exclut pas, à terme, des tensions militaires dans les zones minières.

La militarisation ne se limite pas aux grandes puissances. Des groupes armés et des milices locales financent leurs activités grâce à l'exploitation illégale des ressources, notamment en Afrique centrale. Cette économie grise alimente un cercle

vicieux de corruption, de violences et de dépendance extérieure.

Vers une économie de la rareté

À mesure que la demande explose, la concentration géographique des gisements et la lenteur des projets miniers accentuent les tensions. L'extraction d'un nouveau gisement peut prendre quinze à vingt ans entre la prospection et la production, alors que la demande technologique évolue à un rythme exponentiel.

Dans les années 2040, la rareté des métaux critiques pourrait devenir un frein majeur à la transition énergétique. Certains experts anticipent des pénuries récurrentes de cuivre et de nickel, compromettant la production de véhicules électriques et d'infrastructures énergétiques. Les prix pourraient atteindre des niveaux record, déclenchant une course à la substitution technologique et au recyclage.

Mais la « fin de l'abondance minérale » n'est pas seulement économique : elle est aussi écologique et sociale. Les gisements exploitables s'épuisent, les coûts environnementaux s'alourdissent, et les communautés locales se mobilisent contre des projets jugés destructeurs. Les guerres minières du XXIe siècle ne se joueront pas seulement entre États, mais aussi entre modèles de société : croissance verte ou sobriété, mondialisation ou relocalisation, extractivisme ou circularité.

Conclusion : un monde sous tension matérielle

Les métaux critiques sont devenus la nouvelle matrice du pouvoir mondial. Derrière les promesses de transition écologique et de souveraineté industrielle se profile une réalité brutale : celle d'une compétition mondiale pour des ressources limitées, où la dépendance énergétique se mue en dépendance minérale.

Les guerres minières du XXIe siècle illustrent la fin de l'ère de l'abondance. Dans un monde interconnecté mais fracturé, chaque tonne de lithium ou de cuivre devient un enjeu de puissance, chaque mine un potentiel champ de bataille. La capacité des nations à coopérer — ou à se confronter — autour de ces ressources déterminera la stabilité géopolitique et environnementale du monde d'ici 2050.

288 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

8.3 Recyclage, innovation et sobriété : vers quel équilibre ?

L’impasse du modèle extractiviste

L’accélération de la transition énergétique et numérique a mis en lumière un paradoxe fondamental : la volonté de décarboner nos économies repose sur une exploitation toujours plus intensive de ressources minérales limitées. Ce modèle extractiviste, hérité du XX^{e} siècle, atteint aujourd’hui ses limites physiques et environnementales. La multiplication des projets miniers, notamment pour le lithium, le cobalt et le cuivre, se heurte à une triple contrainte : raréfaction géologique, opposition sociale et coût écologique croissant.

Les projections montrent que la demande cumulée pour certains métaux pourrait dépasser les réserves connues d’ici 2050 si les trajectoires actuelles se maintiennent. Face à cette impasse, trois leviers apparaissent incontournables pour rééquilibrer le système : le recyclage des matériaux, l’innovation technologique et la sobriété de la consommation. Ensemble, ils dessinent les contours d’une « économie minérale soutenable », encore balbutiante mais essentielle à la stabilité du monde post-abondance.

Le recyclage, pilier d’une souveraineté matérielle

Le recyclage des métaux critiques représente une alternative stratégique à l’extraction primaire. Il ne peut certes pas, à court terme, satisfaire la totalité de la demande, mais il constitue un

pilier majeur de la résilience industrielle. Alors que la production minière est géographiquement concentrée, les déchets technologiques — batteries usées, composants électroniques, équipements électriques — sont plus équitablement répartis et accessibles.

En 2025, moins de 1 % du lithium mondial est recyclé, contre près de 35 % du cobalt et 45 % du cuivre. Pourtant, les taux de récupération pourraient être multipliés par dix d'ici 2040 grâce aux progrès des procédés hydrométallurgiques et pyrométallurgiques, ainsi qu'au développement des technologies de tri automatisé. L'Union européenne, consciente de cette opportunité, a fixé des objectifs ambitieux dans le cadre de son *Critical Raw Materials Act* : d'ici 2035, au moins 20 % des besoins européens en métaux critiques devraient être couverts par le recyclage.

Au-delà de l'enjeu environnemental, le recyclage devient un instrument de souveraineté. En réduisant la dépendance aux importations, il permet aux États de sécuriser leurs chaînes d'approvisionnement. Il ouvre également la voie à de nouvelles filières industrielles locales, créatrices d'emplois et plus compatibles avec les exigences sociales et climatiques du XXIe siècle.

L'innovation technologique : substituer, optimiser, transformer

L'innovation joue un rôle central dans la recherche d'un équilibre durable entre demande et disponibilité. Trois axes

majeurs se distinguent : la substitution, l’optimisation et la transformation.

La substitution consiste à remplacer les métaux rares par des alternatives plus abondantes ou plus faciles à recycler. Les chercheurs explorent, par exemple, des batteries sans cobalt, des aimants permanents sans terres rares ou des électrolytes solides à base de sodium. Ces innovations ne suppriment pas la dépendance minérale, mais la redistribuent, réduisant la pression sur certains matériaux critiques.

L’optimisation, quant à elle, repose sur l’efficacité des procédés industriels et la réduction de la consommation par unité de produit. Les nouvelles générations de batteries lithium-fer-phosphate, moins denses mais plus stables et moins gourmandes en métaux rares, en sont un exemple. Dans les secteurs de l’électronique et de la microtechnologie, la miniaturisation et la modularité permettent également de prolonger la durée de vie des composants et d’en faciliter le recyclage.

Enfin, la transformation systémique concerne la conception même des produits et des infrastructures. L’« écoconception » — penser le recyclage dès la fabrication — devient une approche structurante. Les industriels s’efforcent de créer des « boucles fermées », où chaque déchet devient une ressource. Cette logique circulaire, encore marginale, pourrait s’imposer dans les décennies à venir comme une nouvelle norme industrielle mondiale.

La sobriété : un tabou devenu nécessité

Si l'innovation et le recyclage sont des leviers techniques, la sobriété représente un changement culturel et politique. Elle remet en question l'idée même de croissance illimitée, en posant les bases d'un modèle de développement fondé sur la modération de la consommation matérielle.

L'ère de l'abondance énergétique a façonné des modes de vie intensifs en ressources. Smartphones renouvelés chaque année, véhicules toujours plus puissants, data centers énergivores : la consommation numérique et énergétique explose plus vite que les gains d'efficacité. Or, aucune innovation ne peut durablement compenser une demande sans limites.

La sobriété n'est pas synonyme de régression, mais d'arbitrage. Elle implique de repenser les usages : prolonger la durée de vie des objets, mutualiser les équipements, limiter le superflu technologique et recentrer la production sur les besoins essentiels. Dans le secteur des transports, par exemple, la généralisation de la mobilité partagée et la réduction du parc automobile individuel pourraient alléger considérablement la pression sur les métaux.

Sur le plan politique, la sobriété s'impose comme une stratégie de sécurité matérielle. En réduisant la demande, elle diminue les tensions géopolitiques liées aux approvisionnements, tout en renforçant la résilience des économies.

L’équilibre fragile d’une transition soutenable

Trouver un équilibre entre recyclage, innovation et sobriété constitue l’un des défis majeurs du monde de 2040-2050. Aucune de ces solutions ne peut, isolément, résoudre la crise des ressources. Le recyclage restera limité par les volumes disponibles et la dispersion des métaux dans les produits. L’innovation ne suffira pas à compenser la croissance exponentielle de la demande. Et la sobriété, bien que nécessaire, se heurte aux logiques de marché et à la résistance culturelle à la réduction de la consommation.

C’est donc une transformation systémique qui s’impose, où les trois leviers agissent en synergie. Le recyclage alimente une économie circulaire, soutenue par l’innovation technologique, tandis que la sobriété stabilise la demande et préserve les équilibres écologiques. Dans ce modèle, la valeur ne réside plus dans la possession ou la quantité, mais dans la durabilité, la réparabilité et la maîtrise des cycles de vie.

Les politiques publiques devront accompagner ce basculement en réorientant la fiscalité, en soutenant la recherche, en encadrant les usages numériques et en favorisant la coopération internationale. À long terme, l’économie de la rareté pourrait ainsi devenir une économie de la responsabilité, fondée sur la compréhension des limites planétaires.

Conclusion : vers une nouvelle écologie de la matière

Les guerres minières du XXIe siècle ont révélé la dépendance profonde des sociétés modernes à la matière. L’humanité ne

pourra échapper à cette dépendance qu'en transformant son rapport à la ressource : non plus la considérer comme un bien illimité, mais comme un capital commun, à préserver et à régénérer.

L'équilibre entre recyclage, innovation et sobriété marque la voie d'une nouvelle écologie industrielle, capable de concilier progrès technologique et limites planétaires. Dans le monde de 2040-2050, cet équilibre déterminera non seulement la prospérité économique, mais aussi la stabilité politique et la soutenabilité écologique de la civilisation post-abondance.

Partie IV – La planète vivante en crise

9. Une Terre plus chaude de 2,5 °C

Le franchissement du seuil critique

À l’horizon 2040-2050, la planète s’est irréversiblement engagée dans une trajectoire de réchauffement moyen d’environ **2,5 °C** par rapport à l’ère préindustrielle. Ce seuil, désormais reconnu comme probable par les principales institutions climatologiques, dépasse largement les objectifs de l’Accord de Paris, qui visait à contenir la hausse sous les 1,5 °C.

Ce réchauffement n’est pas uniforme : les latitudes nord connaissent des hausses deux à trois fois supérieures à la moyenne mondiale, tandis que les régions tropicales subissent des vagues de chaleur extrêmes, rendant certaines zones difficilement habitables plusieurs mois par an. La Terre de +2,5 °C n’est pas un scénario théorique ; c’est un monde transformé dans sa géographie, son hydrologie, sa productivité biologique et ses équilibres politiques.

Les glaciers de montagne, les calottes du Groenland et de l’Antarctique reculent à un rythme inédit depuis plusieurs millénaires. Les mers montent de plus d’un demi-mètre, submergeant des deltas et des zones côtières densément peuplées. Les sécheresses, les mégafeux et les tempêtes tropicales deviennent des phénomènes permanents du quotidien planétaire.

Le dérèglement climatique global : chaînes de réactions et effets de seuil

Un réchauffement de 2,5 °C active des boucles de rétroaction complexes qui amplifient les déséquilibres climatiques. Les forêts boréales, longtemps puits de carbone, se transforment en sources d'émissions à cause des incendies et du dégel du permafrost. Les océans, saturés en CO_2, voient leur capacité d'absorption décliner, tout en s'acidifiant, perturbant la base des chaînes alimentaires marines.

Le système climatique, longtemps stable, devient non linéaire. Les chercheurs observent une multiplication des « points de bascule » : perte du pergélisol arctique, disparition des récifs coralliens, effondrement partiel de la circulation océanique atlantique. Ces phénomènes ne se succèdent plus mais s'imbriquent, produisant des cascades d'effets écologiques et sociaux.

Le monde de +2,5 °C est un monde d'instabilités cumulatives. Chaque crise — qu'elle soit hydrique, alimentaire ou migratoire — en déclenche d'autres. La chaleur excessive réduit la productivité agricole, ce qui alimente la faim et les tensions politiques, lesquelles freinent à leur tour les investissements dans l'adaptation. Ce cercle vicieux installe une nouvelle ère d'incertitude systémique.

Les territoires à la frontière du vivable

Sous 2,5 °C de réchauffement, certaines régions basculent littéralement hors des zones de confort physiologique humain.

Les indices combinés de température et d’humidité atteignent des niveaux où le corps ne parvient plus à se refroidir naturellement, rendant des régions entières inhabitables sans assistance technologique.

Le Moyen-Orient, l’Asie du Sud et certaines parties de l’Afrique de l’Ouest et du Sud sont les plus exposées. Les mégapoles comme Karachi, Dubaï, Lagos ou New Delhi connaissent des épisodes de chaleur dépassant 50 °C. La demande énergétique pour la climatisation explose, aggravant paradoxalement les émissions.

Les régions polaires, quant à elles, se réchauffent deux à quatre fois plus vite. Le Groenland perd plusieurs centaines de milliards de tonnes de glace par an, tandis que la Sibérie connaît des étés sans gel, libérant d’énormes quantités de méthane. L’Arctique libre de glace estivale devient une réalité annuelle, ouvrant de nouvelles routes maritimes, mais aussi de nouveaux champs de rivalité géopolitique.

Les zones tempérées, où se concentrent les grandes économies, ne sont pas épargnées. L’Europe du Sud, le sud des États-Unis et une large partie du bassin méditerranéen subissent une aridification rapide, accompagnée de sécheresses prolongées et d’incendies récurrents. L’agriculture, l’eau et la santé publique deviennent les trois piliers fragiles d’une stabilité menacée.

Les impacts économiques : une croissance sous contrainte climatique

Le réchauffement de 2,5 °C redéfinit les fondements de l'économie mondiale. Les coûts liés aux catastrophes naturelles, aux pertes agricoles, aux maladies et aux migrations dépassent de loin les bénéfices de la croissance technologique. Selon les projections de Rystad Energy et de la Banque mondiale, les pertes économiques cumulées pourraient représenter jusqu'à 15 % du PIB mondial d'ici 2050.

Les systèmes d'assurance, les marchés financiers et les chaînes d'approvisionnement mondiales se fragilisent. Les infrastructures côtières — ports, centrales électriques, zones industrielles — subissent des dommages récurrents, entraînant une dépréciation massive du capital fixe. Dans les régions les plus vulnérables, les États voient leur dette exploser sous l'effet combiné de la reconstruction et de la désorganisation économique.

Le coût social du carbone, longtemps sous-estimé, devient un facteur déterminant de la politique mondiale. Les marchés du carbone, les taxes environnementales et les investissements verts se multiplient, mais trop tard pour inverser les trajectoires. Dans ce monde de 2040-2050, la croissance se mue en gestion permanente de la crise, et la prospérité en survie économique.

Migrations, sécurité et tensions géopolitiques

Une planète plus chaude de 2,5 °C est aussi une planète plus instable politiquement. Le déplacement de centaines de millions de personnes devient l'un des phénomènes les plus massifs du siècle. L'élévation du niveau des mers submerge partiellement des pays entiers comme le Bangladesh ou les îles du Pacifique, provoquant des migrations climatiques transcontinentales.

L'accès à l'eau devient un enjeu stratégique majeur. Les bassins fluviaux transfrontaliers — Nil, Tigre et Euphrate, Mékong, Indus — deviennent des zones de tension permanente. Les États puisent dans leurs nappes phréatiques à un rythme supérieur à leur renouvellement, alimentant rivalités et conflits.

Les armées, notamment en Asie et au Moyen-Orient, se préparent à une « guerre du climat » diffuse : contrôle des ressources, mouvements de population, adaptation d'urgence aux catastrophes. L'environnement devient un acteur géopolitique à part entière, capable de renverser des équilibres régionaux et d'accélérer l'effondrement des États fragiles.

Les puissances du Nord ne sont pas épargnées. Les vagues migratoires massives, les pénuries alimentaires mondiales et les catastrophes naturelles multiples bouleversent les équilibres politiques internes. La montée des populismes climatiques, fondés sur la peur et la fermeture, traduit une crise de la gouvernance mondiale face à une planète devenue instable.

L’effondrement silencieux de la biosphère

Sous 2,5 °C de réchauffement, la vie terrestre entre dans une ère d’effondrement biologique. Près de 30 % des espèces connues voient leur habitat disparaître ou se fragmenter. Les forêts tropicales, moteurs de la régulation climatique, subissent des sécheresses et des incendies qui en font des émetteurs nets de carbone.

Les océans, réchauffés et acidifiés, perdent une part majeure de leur biodiversité. Les récifs coralliens, déjà en déclin, disparaissent presque totalement avant 2050. Les zones mortes — pauvres en oxygène — se multiplient, affectant la pêche et la sécurité alimentaire de milliards d’humains.

Les services écosystémiques — pollinisation, régulation hydrique, fertilité des sols — s’effondrent progressivement. Ce déclin biologique n’est pas seulement écologique : il remet en question la base même de la civilisation humaine, construite sur la stabilité climatique et la prévisibilité de la nature.

Adaptation, résilience et limites de la technique

Face à une Terre plus chaude de 2,5 °C, l’humanité tente de s’adapter. Les infrastructures résilientes, les technologies de capture du carbone et la géo-ingénierie deviennent des domaines stratégiques. Des villes entières sont repensées pour résister aux chaleurs extrêmes, tandis que des digues colossales protègent les zones côtières.

Cependant, l’adaptation technique rencontre ses propres limites. Les coûts d’investissement, les inégalités d’accès et les

effets secondaires écologiques rendent ces solutions partielles et incomplètes. La capture du carbone reste marginale face aux volumes émis, et la géo-ingénierie solaire, bien qu'expérimentée, soulève des questions éthiques et politiques majeures.

La résilience n'est donc pas uniquement une question de technologie, mais de société. Les communautés qui parviennent à coopérer, à partager les ressources et à réduire leur dépendance matérielle résistent mieux aux chocs. Dans un monde plus chaud, la solidarité devient une stratégie de survie.

Conclusion : la fin de l'illusion climatique

Une Terre plus chaude de 2,5 °C n'est pas un scénario dystopique, mais le prolongement logique de nos trajectoires actuelles. Elle marque la fin de l'illusion d'un climat stable et maîtrisable. L'humanité entre dans une ère où chaque dixième de degré supplémentaire aura des conséquences mesurables sur la santé, l'économie et la sécurité mondiale.

La question n'est plus de savoir comment éviter le réchauffement, mais comment vivre avec lui. Les décennies à venir seront marquées par une redéfinition de la prospérité, fondée non plus sur la croissance infinie, mais sur la résilience, la sobriété et la justice écologique. C'est dans cet espace — entre adaptation et transformation — que se jouera l'avenir d'une planète vivante en crise.

9.1 Les projections du GIEC et la réalité observée

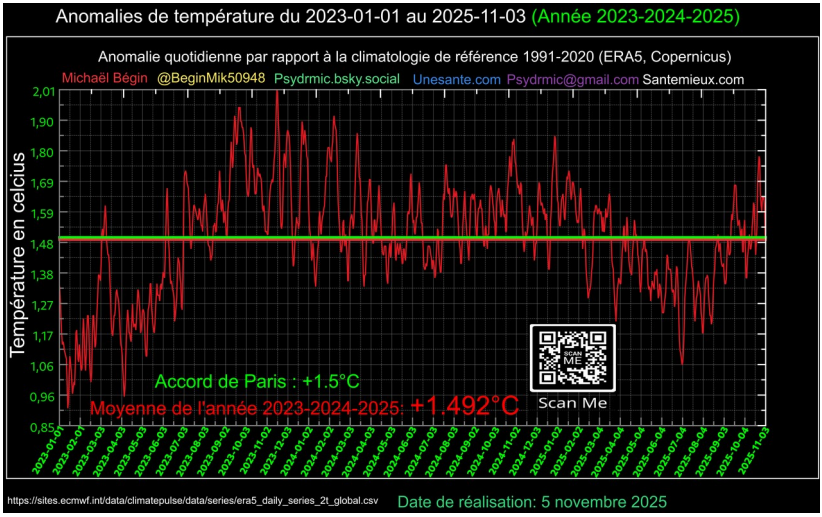
Les rapports successifs du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) constituent depuis plus de trois décennies la référence scientifique internationale sur l'état du climat terrestre. Leur mission est de synthétiser la littérature scientifique disponible afin d'évaluer les risques associés aux changements climatiques, leurs impacts et les stratégies d'adaptation possibles. Si les premiers rapports, dans les années 1990, évoquaient encore une incertitude considérable sur l'ampleur et la vitesse du réchauffement global, les éditions récentes — notamment le sixième rapport (AR6) publié entre 2021 et 2023 — confirment avec un haut degré de confiance que l'humanité est entrée dans une phase de dérèglement accéléré, dépassant déjà nombre de projections antérieures.

Des modèles prudents face à une réalité plus brutale

Les scénarios climatiques élaborés par le GIEC se basent sur des trajectoires socio-économiques appelées *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP), combinées à divers niveaux d'émissions de gaz à effet de serre (les *Representative Concentration Pathways*, RCP). Ces modèles simulent l'évolution du climat global en fonction des politiques d'atténuation, du développement industriel et des usages énergétiques.

Or, depuis le début des années 2020, un constat s'impose : la réalité observée suit la fourchette haute des projections. Les

concentrations atmosphériques de CO_2 ont franchi le seuil symbolique de 420 ppm en 2023, niveau jamais atteint depuis au moins trois millions d'années. Les températures moyennes mondiales ont déjà grimpé d'environ 1,3 à 1,4 °C par rapport à l'ère préindustrielle, plaçant la planète dangereusement proche du seuil de 1,5 °C fixé par l'Accord de Paris.



Les phénomènes extrêmes — vagues de chaleur prolongées, méga-incendies, fonte accélérée des glaciers, sécheresses et inondations simultanées — se produisent à des intensités et des fréquences supérieures à ce qu'indiquaient les modèles du GIEC d'il y a à peine dix ans. Plusieurs études suggèrent que certaines rétroactions climatiques (comme la fonte du pergélisol ou la perte d'albédo dans l'Arctique) amplifient le

réchauffement plus vite que prévu, introduisant des boucles de rétroaction difficilement réversibles.

Un désalignement entre engagement politique et inertie physique

Les engagements nationaux de réduction des émissions — les *Nationally Determined Contributions* (NDC) — sont largement insuffisants pour maintenir le réchauffement sous les 2 °C. Le GIEC souligne que, même si toutes les promesses actuelles étaient respectées, la trajectoire probable se situe entre +2,4 °C et +2,8 °C d'ici la fin du siècle. La difficulté réside dans la lenteur d'adaptation des systèmes énergétiques et économiques face à une inertie climatique massive : les émissions d'aujourd'hui produiront leurs effets pendant plusieurs décennies.

La décennie 2020-2030 s'annonce donc comme la période décisive où se jouera la possibilité d'éviter les scénarios les plus catastrophiques. Or, malgré les progrès dans les énergies renouvelables, la dépendance mondiale aux combustibles fossiles reste proche de 80 % de la consommation totale d'énergie primaire. Les grands pays émergents continuent d'augmenter leur production de charbon, tandis que les infrastructures d'hydrocarbures se développent encore, soutenues par une demande mondiale persistante.

Des signaux d'alerte planétaire

Les anomalies climatiques observées depuis 2015 sont saisissantes. L'Arctique se réchauffe quatre fois plus vite que la

moyenne mondiale, provoquant un dégel du pergélisol qui libère méthane et CO_2, deux gaz à effet de serre puissants. Les calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique Ouest perdent des milliards de tonnes de glace chaque année, contribuant à une élévation du niveau des mers déjà mesurable. Les océans, véritables régulateurs climatiques, absorbent plus de 90 % de l'excès de chaleur accumulé dans le système terrestre. Mais cette capacité d'absorption entraîne une acidification et une désoxygénation inquiétantes, fragilisant les écosystèmes marins et perturbant les courants océaniques.

Le GIEC alerte aussi sur le dépassement de plusieurs « limites planétaires » : cycle de l'azote, déforestation, perte de biodiversité, et usage excessif des ressources en eau douce. Ces crises s'interconnectent et renforcent la vulnérabilité des sociétés humaines, en particulier dans les régions tropicales et subtropicales où les seuils de tolérance physiologique sont déjà atteints lors de certaines vagues de chaleur.

Vers un nouvel équilibre climatique instable

Si la température moyenne mondiale devait augmenter de 2,5 °C, comme le laissent présager les tendances actuelles, les modèles montrent un risque de basculement vers un régime climatique qualitativement différent. Cela inclut une intensification des précipitations extrêmes, une redistribution des zones agricoles viables, des migrations climatiques massives et une recrudescence des conflits liés à l'eau et à la sécurité alimentaire.
Le GIEC souligne qu'il ne s'agit plus seulement d'éviter un

réchauffement global, mais d'apprendre à vivre dans un monde en transformation irréversible. L'adaptation devient aussi cruciale que l'atténuation, et la capacité des États à anticiper ces bouleversements déterminera la stabilité économique et politique du XXIe siècle.

9.2 Institute and Faculty of Actuaries (Planetary Solvency – finding our balance with nature)

Au-delà des constats scientifiques du GIEC et des alertes climatiques des grandes institutions internationales, un nouvel acteur intellectuel et économique s'est imposé au sein du débat : le monde de l'actuariat. Traditionnellement associé à l'évaluation des risques financiers, assurantiels et démographiques, ce domaine s'est saisi depuis une dizaine d'années des questions environnementales sous l'angle de la *solvabilité planétaire* — une notion développée et popularisée par l'**Institute and Faculty of Actuaries (IFoA)**, principal organisme professionnel des actuaires britanniques. Leur rapport de référence, *Planetary Solvency: Finding Our Balance with Nature* (2023), marque une inflexion majeure dans la manière d'appréhender la durabilité : il s'agit non plus de penser la stabilité des marchés *dans* la nature, mais la stabilité des sociétés humaines *avec* la nature.

Le concept de solvabilité planétaire

Le terme de *solvabilité planétaire* repose sur une analogie directe avec la solvabilité financière. Une entreprise est dite solvable lorsqu'elle peut honorer ses engagements futurs sans épuiser ses capitaux ; la Terre, elle, serait *solvable* si elle peut continuer à fournir les ressources et services écosystémiques nécessaires au maintien de la vie et des activités humaines sans dépasser ses limites physiques.
L'IFoA part du constat que les économies modernes opèrent en

situation d'« insolvabilité écologique latente » : elles consomment et détruisent le capital naturel plus vite qu'il ne se régénère. Cette approche déplace la focale de la simple comptabilité du carbone vers une évaluation globale du risque de rupture des systèmes naturels qui sous-tendent toute valeur économique — sols, océans, climat, biodiversité, eau douce.

Dans cette perspective, le *Planetary Solvency Framework* propose une méthodologie d'analyse inspirée des modèles prudentiels utilisés en finance (comme *Solvency II* dans l'Union européenne). Il s'agit d'évaluer la résilience systémique du « capital naturel » mondial et d'intégrer ce risque dans les bilans économiques, les stratégies d'investissement et les politiques publiques.

Relier risque climatique et stabilité financière

L'un des apports majeurs du rapport est de relier, de façon rigoureuse, le risque climatique à la notion de solvabilité à long terme. L'IFoA observe que la plupart des modèles économiques traditionnels évaluent la croissance sans intégrer la dégradation des écosystèmes comme passif. Or, dans un monde de +2,5 °C, la fréquence accrue des catastrophes naturelles, la perte de productivité agricole, les tensions sur les ressources hydriques et l'instabilité géopolitique induite pourraient provoquer des pertes cumulées équivalentes à plusieurs points de PIB mondiaux par an, soit davantage que toutes les crises financières des cinquante dernières années réunies.

Le rapport propose ainsi de repenser la notion même de rendement. Dans une économie en dépassement écologique, le profit financier non adossé à un maintien du capital naturel devient une illusion comptable : il s'agit d'une *création de valeur fictive* reposant sur l'épuisement silencieux des conditions biophysiques de la prospérité.
Les actuaires suggèrent donc une intégration du risque écologique dans la réglementation prudentielle, au même titre que les risques de marché, de crédit ou d'assurance. Cela suppose une transformation des outils de modélisation actuarielle : les scénarios de stress-test doivent désormais inclure des paramètres de dérèglement climatique, d'effondrement de biodiversité ou de pénurie de ressources critiques.

La comptabilité du vivant : un nouveau paradigme

Le rapport *Planetary Solvency* rejoint ici le mouvement plus large de la « comptabilité du vivant » (*Natural Capital Accounting*), qui vise à valoriser les services écosystémiques dans les bilans des États et des entreprises. Cette approche ne se limite pas à un exercice technique : elle traduit un changement profond dans la conception même de la richesse.
L'IFoA plaide pour une évaluation de la performance économique à travers trois bilans interconnectés :

1. **Le capital financier**, qui mesure les flux monétaires et la rentabilité.

2. **Le capital humain et social**, qui évalue les savoirs, les institutions et les solidarités.
3. **Le capital naturel**, qui représente le socle biophysique sans lequel les deux premiers deviennent caducs.

Ainsi, une nation ou une entreprise ne peut être jugée prospère que si elle maintient sa solvabilité à travers ces trois dimensions. La dette écologique devient alors un indicateur central de vulnérabilité systémique.

Une économie d'équilibre et de responsabilité

L'IFoA insiste sur le fait que la stabilité du XXIe siècle dépendra de la capacité à atteindre un *équilibre dynamique* entre consommation, innovation et régénération. L'objectif n'est pas une croissance infinie, mais une économie de flux circulaires capables de préserver le capital naturel.
Dans cette optique, le rapport met en avant trois leviers :

- **La réévaluation du risque à long terme**, en intégrant le coût réel des dégradations environnementales dans les modèles financiers.
- **L'investissement de transition**, orienté vers les infrastructures bas-carbone, la restauration des écosystèmes et la gestion durable des ressources.
- **La régénération des capitaux naturels**, qui suppose de traiter la nature non comme un stock exploitable mais comme un partenaire à entretenir.

Cette logique rejoint la pensée de la *sobriété systémique* : réduire volontairement l'empreinte écologique pour préserver la stabilité globale. Selon les actuaires, la résilience économique du futur reposera moins sur la maximisation du profit immédiat que sur la minimisation du risque d'effondrement collectif.

De la finance de risque à la finance de résilience

L'une des propositions les plus novatrices du rapport est la création d'un indice global de *solvabilité planétaire*, qui mesurerait la santé systémique de la biosphère et son interaction avec les marchés financiers. Cet indice pourrait servir à orienter les investissements publics et privés, à fixer des primes de risque différenciées selon le niveau d'exposition écologique, et à inciter à la régénération du capital naturel. Le rôle des actuaires serait alors redéfini : non plus seulement calculer des probabilités de sinistres ou de rendement, mais modéliser la viabilité de systèmes entiers dans un environnement biophysique fini.

En cela, *Planetary Solvency* ne se contente pas de décrire un risque : il propose une éthique de la prévoyance. La solvabilité du XXI^{e} siècle ne se mesurera plus seulement en ratios comptables, mais en capacité collective à rester sous les limites planétaires. C'est, au fond, une invitation à redéfinir la rationalité économique dans les termes du vivant.

Rating	Financial impact	Non-financial impact			
	GDP losses	Human mortality	Climate	Nature	Societal
Extreme	≥50%	≥50% > 4 billion deaths	3°C or more by 2050. Multiple climate tipping points triggered, tipping cascade.	Breakdown of several critical ecosystem services and Earth systems. High level of extinction of higher order life on Earth.	Significant socio-political fragmentation worldwide and/or state failure with rapid, enduring, and significant loss of capital and systems identity. Frequent large scale mortality events.
Catastrophic	≥25%	≥25% >2 billion deaths	2°C or more by 2050. High number of climate tipping points triggered, partial tipping cascade.	Breakdown of some critical ecosystem services and Earth systems. Major extinction events in multiple geographies. Ocean circulation severely impacted.	Severe socio-political fragmentation in many regions, low lying regions lost. Heat and water stress drive involuntary mass migration of billions. Catastrophic mortality events from disease, malnutrition, thirst and conflict.
Decimation	≥10% >$10 trillion annual losses	≥10% > 800 million deaths	Global warming limited to 2°C by 2050. Several climate tipping points triggered.	Severe reduction in several critical ecosystem services. Major extinction events in some geographies. Frequent global food and water crises.	Severe socio-political fragmentation in regions exposed to climate and/or nature impacts. Failure of vulnerable states and mass mortality events in impacted areas.
Severe	≥5% >$5 trillion annual losses	≥5% > 400 million deaths	Global warming limited to 1.5°C by 2050 following overshoot. Some proximate climate tipping points triggered.	Some impacts to critical ecosystem services. Ongoing species extinction. Regular global food and water crises.	Some socio-political fragmentation in most vulnerable states, where adaptation has been limited. Fragile states exposed to climate risks see mass migration and mortality events from heat, water stress and weather events.
Limited	≥1% >$1 trillion annual losses	≥1% > 80 million deaths	Global warming below 1.5°C by 2050, with limited overshoot. Climate tipping points largely avoided.	Mass extinction avoided and ecosystem services largely functional. Occasional global food crisis and widespread water crises.	Ongoing significant climate impacts with many hundreds of billion dollar + loss events annually and associated mortality and socio-political stress.

Likelihood of the risk occurring over a certain timeframe	Extremely Unlikely	Highly Unlikely	Unlikely	Possible	Likely	Highly Likely
	<1%	1-10%	10-40%	40-60%	60-90%	≥90%

318 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

9.3 Impacts sur les écosystèmes et les sociétés humaines

La hausse moyenne de la température mondiale de 2,5 °C, désormais plausible selon les trajectoires d'émissions observées, constitue une rupture d'équilibre d'une ampleur comparable à celles qui ont marqué les grandes transitions géologiques de la Terre. Mais contrairement aux bouleversements du passé, ce changement est d'origine anthropique et d'une rapidité sans précédent. Les conséquences de cette accélération se déploient simultanément sur les plans biologique, écologique, économique et social, dessinant un monde où la fragilisation des écosystèmes naturels entraîne une cascade d'instabilités pour les sociétés humaines.

Un effondrement silencieux de la biodiversité

La première victime du réchauffement planétaire est la biodiversité. Chaque dixième de degré supplémentaire modifie les conditions de survie de millions d'espèces. Selon l'IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services), environ un million d'espèces animales et végétales sont désormais menacées d'extinction, souvent à cause de la combinaison entre changement climatique, destruction des habitats et pollution chimique.

Les zones polaires, les récifs coralliens et les forêts tropicales illustrent trois visages de cette crise :

- **Dans l’Arctique**, la fonte rapide des glaces réduit les habitats des ours polaires, phoques et oiseaux migrateurs, tout en ouvrant des routes maritimes et minières qui aggravent la perturbation des écosystèmes.
- **Dans les océans tropicaux**, les épisodes de blanchissement massif des coraux se multiplient, détruisant des nurseries marines dont dépendent près d’un quart des espèces de poissons.
- **Dans l’Amazonie et le bassin du Congo**, la déforestation conjuguée au stress hydrique transforme la forêt humide en savane, menaçant d’un basculement écologique irréversible l’un des plus grands puits de carbone terrestres.

L’équilibre biologique du monde bascule ainsi d’un système de régulation vers un système de vulnérabilité. Chaque perte d’espèce réduit la résilience globale, comme une pièce manquante dans une architecture complexe dont les fonctions interdépendantes assurent la stabilité du climat, la fertilité des sols et la pureté de l’eau.

Des océans à bout de souffle

Les océans absorbent encore aujourd’hui plus de 90 % de l’excès de chaleur issu des activités humaines. Mais cette fonction régulatrice atteint ses limites. La hausse des températures marines perturbe les grands courants océaniques, notamment l’Atlantique Nord et la zone indo-pacifique. Certains modèles prévoient un ralentissement de la circulation

méridienne de retournement (AMOC), qui pourrait transformer radicalement le climat de l'Europe et de l'Amérique du Nord.

L'acidification, conséquence directe de la dissolution du CO_2 dans l'eau de mer, réduit la capacité de calcification des organismes marins — coquillages, crustacés, coraux — et modifie la composition chimique des écosystèmes côtiers. Parallèlement, la désoxygénation liée à la stratification thermique entraîne la formation de zones mortes, où la vie ne peut plus se développer.
Pour les sociétés humaines, ces bouleversements se traduisent par des pertes de ressources halieutiques, une insécurité alimentaire accrue dans les régions dépendantes de la pêche, et une hausse des migrations côtières dues à l'érosion et à la montée du niveau des mers.

Crises hydriques et sécurité alimentaire

Le réchauffement global reconfigure le cycle de l'eau. Les régions tempérées connaissent des alternances de sécheresses prolongées et de pluies torrentielles, tandis que les zones arides s'enfoncent dans une désertification structurelle. L'Asie du Sud, le Proche-Orient, le Sahel et l'ouest des États-Unis sont déjà confrontés à des pénuries hydriques chroniques.
Les glaciers de l'Himalaya, des Andes et des Alpes, qui alimentent les grands fleuves du monde, fondent à un rythme alarmant, menaçant les réserves d'eau douce de milliards d'individus.

La sécurité alimentaire devient un enjeu géopolitique majeur. Les rendements agricoles chutent sous l'effet combiné de la chaleur, du manque d'eau et de la dégradation des sols. Certaines zones céréalières du Moyen-Orient, d'Afrique subsaharienne ou du sud de l'Europe pourraient devenir inexploitables avant 2050.
Les modèles du GIEC prévoient également un déplacement des zones agricoles vers le nord, mais cette migration des cultures ne compensera pas les pertes globales, en raison des sols pauvres et des saisons plus courtes. À 2,5 °C de réchauffement, le risque de crises alimentaires simultanées sur plusieurs continents deviendrait une réalité structurelle.

Déstabilisation sociale et migrations climatiques

L'impact écologique se double d'une crise sociale mondiale. Le *World Bank Groundswell Report* (2023) estime qu'entre 200 et 250 millions de personnes pourraient être contraintes de migrer d'ici 2050 pour des raisons climatiques — montée des eaux, désertification, perte de terres cultivables ou catastrophes naturelles répétées.
Ces mouvements massifs, souvent internes aux pays du Sud mais susceptibles de se propager vers le Nord, accentueront les tensions politiques, les rivalités pour les ressources et les risques de conflit.

Les mégapoles côtières, de Lagos à Mumbai, de Dacca à New York, sont particulièrement vulnérables. Leur exposition aux tempêtes, à la montée des eaux et à l'effondrement des infrastructures critiques constitue une menace directe pour des

centaines de millions de personnes.
Le dérèglement climatique agit ici comme un *multiplicateur de menaces*, aggravant les inégalités existantes : les populations les plus pauvres, celles qui ont le moins contribué au réchauffement, en subissent les conséquences les plus graves.

Santé, économie et gouvernance : les effets en cascade

La santé publique sera elle aussi bouleversée. Les vagues de chaleur extrême provoqueront une hausse des maladies cardiovasculaires et respiratoires, tandis que les vecteurs infectieux (moustiques, tiques) étendront leur aire géographique vers les latitudes tempérées. Le paludisme, la dengue et le virus du Nil occidental pourraient réapparaître dans des régions où ils avaient disparu.

Sur le plan économique, la multiplication des catastrophes naturelles augmentera les coûts d'assurance et fragilisera les finances publiques. Les pertes économiques liées aux événements climatiques extrêmes dépassent déjà 300 milliards de dollars par an, et ce chiffre pourrait doubler d'ici 2050.
Enfin, la gouvernance mondiale devra affronter des défis sans précédent : coordination des secours, gestion des migrations, partage des ressources, adaptation des infrastructures, refonte des modèles agricoles et énergétiques. Ces transformations exigeront non seulement des moyens matériels, mais surtout une refonte des valeurs collectives, où la résilience, la solidarité et la sobriété remplaceront la logique de croissance illimitée.

Vers une ère d’incertitude permanente

Une Terre plus chaude de 2,5 °C n’est pas un scénario lointain, mais un horizon tangible de la vie des générations à venir. Elle ne signifiera pas l’extinction immédiate de l’humanité, mais l’entrée dans une ère d’incertitude permanente, où la stabilité climatique et écologique — fondement implicite de toutes les civilisations — ne sera plus garantie.

Les sociétés humaines devront composer avec un environnement instable, parfois hostile, et inventer des modes de coexistence nouveaux entre économie, technique et biosphère. Le défi n’est plus seulement de « sauver la planète », mais de redéfinir les conditions d’une habitation humaine du monde dans les limites physiques de celui-ci.

326 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

9.4 Canicules, incendies, déserts climatiques : les zones les plus vulnérables

Le réchauffement global moyen de +2,5 °C d'ici le milieu du XXIe siècle n'est qu'une abstraction statistique : il masque des réalités régionales extrêmement contrastées. Certaines zones du globe connaîtront des hausses de température deux à trois fois supérieures à cette moyenne, avec des effets dévastateurs sur les écosystèmes, les infrastructures et la vie humaine. Dans cette géographie nouvelle du climat, des régions entières pourraient devenir partiellement, voire totalement, inhabitables plusieurs mois par an.

La montée en puissance des canicules extrêmes

Depuis les années 2010, les vagues de chaleur record se multiplient à un rythme inédit. L'Europe de 2022, le Canada de 2021, l'Inde de 2024 ou encore la Méditerranée en 2023 ont connu des températures dépassant 45 à 50 °C, parfois accompagnées d'une humidité telle que le corps humain ne pouvait plus assurer sa régulation thermique.
Selon le GIEC, au-delà d'un indice de température humide de 35 °C (température + humidité), la survie sans assistance devient impossible au-delà de quelques heures. Or, dans un monde à +2,5 °C, ces conditions extrêmes pourraient concerner régulièrement plus d'un milliard d'êtres humains.

Les régions les plus exposées sont :

- **Le Moyen-Orient et le golfe Persique**, où les températures ressenties dépassent déjà 55 °C durant l'été. Des villes comme Doha, Dubaï ou Koweït City pourraient connaître des épisodes de chaleur humide mortelle plusieurs fois par décennie.
- **L'Asie du Sud**, où l'Inde, le Pakistan et le Bangladesh subissent des vagues de chaleur pré-mousson de plus en plus longues et intenses, mettant en péril les récoltes et la santé publique.
- **Le sud de l'Europe**, notamment l'Espagne, la Grèce et l'Italie, où les canicules de 2023 et 2024 ont fait grimper la mortalité estivale de plus de 20 %.
- **L'Afrique subsaharienne**, où la combinaison entre chaleur extrême et manque d'accès à l'eau potable pourrait provoquer des crises humanitaires chroniques.

Ces vagues de chaleur ne sont plus des anomalies, mais de nouveaux régimes climatiques. Elles transforment les modes de vie, les cycles de travail et la physiologie des populations, tout en exerçant une pression croissante sur les réseaux électriques et les systèmes de santé.

L'embrasement des continents : les mégaincendies

La hausse des températures, combinée à la sécheresse et à la baisse de l'humidité des sols, crée les conditions idéales pour des incendies de grande ampleur. Depuis 2017, la planète connaît une multiplication de *mégafeux* — des incendies si

intenses qu’ils génèrent leurs propres conditions météorologiques : nuages pyrocumulonimbus, éclairs, et même tornades de feu.

Les zones critiques incluent :

- **L’ouest des États-Unis et le Canada**, où les forêts boréales et méditerranéennes brûlent à un rythme jamais observé, libérant des milliards de tonnes de CO_2. Les feux de 2023 au Canada ont couvert la moitié du pays et projeté un nuage de fumée jusqu’à New York.
- **L’Australie**, dont les feux de 2019–2020 ont détruit 18 millions d’hectares et provoqué la mort de près de trois milliards d’animaux.
- **Le bassin méditerranéen**, qui voit désormais chaque été des incendies simultanés en Grèce, Turquie, Espagne et Algérie, alimentés par des vents chauds et la déforestation.
- **La Sibérie**, où la fonte du pergélisol expose des zones riches en matière organique, transformant la toundra en combustible géant.

Ces feux accélèrent un cercle vicieux : les forêts, autrefois puits de carbone, deviennent émettrices nettes de CO_2, amplifiant le réchauffement et aggravant la sécheresse. Ils détruisent aussi la biodiversité, polluent durablement l’air et entraînent des déplacements massifs de population.

La désertification : un basculement irréversible

Le réchauffement global favorise une expansion spectaculaire des zones arides. Selon la FAO, d'ici 2050, plus de 45 % des terres émergées pourraient être touchées par la désertification. Ce processus ne se limite plus au Sahel ou au Moyen-Orient : il gagne l'Asie centrale, le sud de l'Europe, la Californie, le nord du Mexique et le nord de la Chine.

La combinaison entre chaleur extrême, raréfaction de l'eau et pratiques agricoles intensives provoque l'effondrement de la fertilité des sols. Dans certaines régions, les rendements agricoles ont déjà chuté de 30 à 50 %. La poussière et le sable remplacent les pâturages, forçant les populations rurales à migrer vers des villes déjà saturées.
Le Sahel illustre cette dynamique : les températures y augmentent 1,5 fois plus vite que la moyenne mondiale, les pâturages reculent, et les conflits liés à la terre et à l'eau se multiplient entre agriculteurs et éleveurs.

Les zones critiques : la carte du risque global

L'analyse croisée du GIEC, de la NASA et du World Resources Institute permet d'identifier plusieurs *hotspots* de vulnérabilité combinée :

1. **La ceinture tropicale** (Amérique centrale, Afrique de l'Ouest, Asie du Sud-Est) : chaleur humide, cyclones et perte rapide des écosystèmes.

2. **Les zones subtropicales méditerranéennes** : sécheresses prolongées, feux de forêt, crise hydrique et effondrement agricole.
3. **Les régions polaires** : fonte accélérée du pergélisol et rétroactions climatiques amplifiant le réchauffement global.
4. **Les mégalopoles côtières** : combinaison de chaleur urbaine, montée des eaux et pollution atmosphérique.

Ces zones concentrent la majorité de la population mondiale, des flux économiques et des infrastructures critiques. Leur vulnérabilité systémique rend tout choc climatique potentiellement global : une sécheresse prolongée en Inde ou un incendie massif au Canada peut désormais déstabiliser des chaînes d'approvisionnement planétaires.

Adaptation ou relocalisation ?

À mesure que certaines zones deviennent difficilement habitables, la question de l'adaptation cède la place à celle de la relocalisation. De vastes régions — notamment le delta du Nil, les plaines du Bangladesh, les zones côtières du Vietnam ou les déserts croissants du Maghreb — risquent de connaître des exodes progressifs et irréversibles.
Les villes devront repenser leur urbanisme : toitures végétalisées, corridors de ventilation naturelle, surfaces réfléchissantes, infrastructures souterraines, et systèmes d'alerte intégrés deviendront essentiels.

Mais au-delà de la technique, la question centrale demeure politique : quelles sociétés accepteront d'accueillir les réfugiés climatiques ? Et quelles valeurs guideront la répartition des ressources rares dans un monde de chaleur extrême ?

Le basculement de la carte du monde

À +2,5 °C, la géographie humaine se redessine. Les zones tempérées du nord, jadis marginales, deviendront plus attractives — le Canada, la Scandinavie, l'Alaska, certaines régions russes ou islandaises pourraient accueillir de nouvelles populations et de nouvelles cultures agricoles.
Inversement, le croissant tropical et subtropical — du Maghreb à l'Indonésie — connaîtra des conditions de vie de plus en plus hostiles. L'humanité s'apprête ainsi à vivre une redistribution silencieuse mais massive de ses zones d'habitabilité, rappelant que la stabilité climatique n'a jamais été un acquis, mais un fragile équilibre biologique et social.

334 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

9.5 L’adaptation impossible : agriculture, santé et migrations

L’adaptation aux bouleversements climatiques du XXIe siècle est souvent présentée comme une solution pragmatique face à une crise désormais inévitable. Pourtant, à mesure que les scénarios se précisent et que la hausse moyenne des températures franchit les seuils critiques, la réalité s’impose : l’adaptation, dans de nombreuses régions du monde, n’est tout simplement plus possible. Les conséquences du réchauffement global touchent simultanément les systèmes agricoles, les infrastructures sanitaires, et les équilibres démographiques mondiaux. Les sociétés humaines, déjà fragilisées par les inégalités économiques, les tensions géopolitiques et la dégradation écologique, se retrouvent devant une équation que ni la technologie ni les institutions actuelles ne peuvent résoudre entièrement.

L’agriculture en crise : la fin de la sécurité alimentaire

L’agriculture, pilier de la civilisation humaine, est la première victime directe du réchauffement planétaire. La hausse des températures moyennes, la variabilité accrue des précipitations et la fréquence des événements extrêmes compromettent les rendements agricoles dans la quasi-totalité des grandes régions productrices. Les cultures de base comme le blé, le maïs et le riz — qui assurent l’essentiel des calories mondiales — voient leurs rendements chuter dès que la température dépasse certains seuils physiologiques pour les plantes.

Dans les régions tropicales et subtropicales, cette situation devient critique. L'Afrique de l'Ouest, l'Asie du Sud et certaines zones d'Amérique latine subissent déjà des stress thermiques et hydriques dépassant les capacités d'adaptation des cultures locales. L'irrigation, longtemps considérée comme une solution, se heurte à la raréfaction des ressources en eau douce et à la surexploitation des nappes phréatiques. Les pays qui dépendent des glaciers himalayens ou andins pour leurs réserves hydriques voient ces sources s'amenuiser à mesure que les calottes glaciaires fondent.

Les modèles de prévision montrent que la sécurité alimentaire mondiale pourrait se dégrader rapidement, non pas seulement en raison de la baisse de production, mais surtout à cause des perturbations logistiques et des inégalités d'accès. Les régions les plus pauvres, déjà exposées à la malnutrition chronique, seront les premières touchées. Les conflits liés à l'eau et à la terre arable, déjà visibles dans certaines zones sahéliennes, risquent de s'étendre à des régions aujourd'hui encore stables.

Santé humaine : une nouvelle ère de vulnérabilité biologique

Les effets du réchauffement ne se limitent pas aux systèmes économiques : ils redéfinissent les conditions mêmes de la survie humaine. L'augmentation des températures extrêmes entraîne une multiplication des épisodes de stress thermique, avec des conséquences directes sur la mortalité et la morbidité, notamment chez les personnes âgées, les enfants et les travailleurs exposés. Les canicules successives de 2022 à 2025

en Europe et en Chine ont déjà montré les limites des infrastructures sanitaires et énergétiques face à des vagues de chaleur de plus en plus longues et intenses.

À cela s'ajoutent les effets indirects : la prolifération de maladies vectorielles (dengue, paludisme, chikungunya) dans des zones jusque-là épargnées, la dégradation de la qualité de l'air due aux incendies de forêt et aux polluants atmosphériques, et les effets psychologiques liés à la perte de repères environnementaux. Les scientifiques évoquent de plus en plus le concept de « détresse écologique » (eco-anxiety), une souffrance collective face à la déstabilisation du monde naturel.

Les systèmes de santé, déjà sous pression dans de nombreux pays, devront affronter des crises multiples et simultanées : pandémies aggravées par la déforestation, migrations climatiques massives, effondrement des chaînes d'approvisionnement médicales. Les pays du Nord, longtemps considérés comme relativement protégés, commencent eux aussi à mesurer les limites de leur résilience, notamment face aux vagues de chaleur urbaines et aux inondations répétées.

Les migrations climatiques : l'exode du siècle

Lorsque les terres deviennent incultivables et que l'eau se raréfie, il ne reste souvent qu'une option : partir. Selon les projections de la Banque mondiale et de l'Organisation internationale pour les migrations, plus de 200 millions de personnes pourraient être déplacées à l'horizon 2050 en raison

des effets directs du changement climatique. Ce chiffre, déjà vertigineux, pourrait être largement sous-estimé si les scénarios de réchauffement supérieurs à +2,5 °C se confirment.

Les régions les plus vulnérables — Afrique subsaharienne, Asie du Sud, Moyen-Orient — verront naître d'immenses flux migratoires vers les zones tempérées, notamment l'Europe et l'Amérique du Nord. Ces déplacements massifs poseront des défis géopolitiques inédits : gestion des frontières, tensions identitaires, redéfinition du droit d'asile. Certains États, incapables de gérer l'afflux, risquent de recourir à des politiques de fermeture radicales, alimentant un cycle de violence et de déstabilisation.

Les migrations climatiques ne sont pas seulement une question humanitaire : elles bouleversent les fondements de la souveraineté et de la citoyenneté. Elles révèlent la fragilité du modèle de développement mondialisé, qui a longtemps ignoré les limites physiques de la planète. La notion même de frontière, héritée du monde industriel, entre en collision avec la réalité d'un système Terre en déséquilibre.

Vers un monde post-adaptatif

L'idée d'« adaptation » suppose que l'humanité puisse ajuster ses structures sans remettre en cause ses fondements. Or, la complexité du dérèglement climatique, ses effets en cascade et son interaction avec d'autres crises (énergétique, économique, démographique) rendent cette perspective de plus en plus illusoire. Certains chercheurs parlent désormais de la nécessité

d’une « transformation systémique », c’est-à-dire d’un changement radical des modes de production, de consommation et de gouvernance.

Mais le temps manque. Chaque année de retard dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre réduit la marge d’action future. L’agriculture ne peut se réinventer sans eau, la santé publique ne peut se renforcer sans infrastructures stables, et les sociétés humaines ne peuvent s’adapter sans justice et solidarité globales. La question n’est donc plus seulement de savoir *comment* s’adapter, mais *jusqu’où* il sera possible de le faire avant que certaines régions du monde deviennent tout simplement inhabitables.

10. La disparition des poissons

Au cœur des bouleversements écologiques du XXIe siècle, l'océan occupe une place paradoxale : à la fois poumon bleu de la planète et miroir silencieux de nos excès. Il régule le climat, absorbe le dioxyde de carbone, nourrit près de trois milliards d'êtres humains, et pourtant, il est en train de s'asphyxier. La disparition progressive des poissons — qu'elle soit causée par la surpêche, le réchauffement des eaux, l'acidification ou la pollution plastique — représente bien plus qu'une crise sectorielle : elle marque l'effondrement d'un pilier fondamental de la biosphère et de la sécurité alimentaire mondiale.

Les océans, qui couvraient jadis de vastes réserves inépuisables, deviennent aujourd'hui des déserts liquides. Dans certaines zones du Pacifique, de l'Atlantique et de l'océan Indien, les écosystèmes halieutiques sont à un point de rupture que les modèles du siècle dernier n'avaient pas anticipé. La « grande déplétion bleue » qui s'annonce n'est pas un scénario apocalyptique : elle est déjà en cours, visible dans la raréfaction des espèces, la migration des stocks vers les pôles et l'effondrement des chaînes alimentaires marines.

La surpêche : un prélèvement au-delà du renouvelable

Depuis la fin du XXe siècle, l'exploitation industrielle des ressources marines s'est intensifiée jusqu'à atteindre des niveaux écologiquement insoutenables. Les flottes modernes,

soutenues par des subventions publiques massives, utilisent des technologies de détection et de capture si efficaces qu'elles ne laissent presque aucune chance aux populations de poissons de se reconstituer. Selon la FAO, plus de 35 % des stocks mondiaux sont surexploités, tandis qu'environ 60 % sont exploités à leur capacité maximale.

La logique économique de la pêche industrielle est celle d'un épuisement programmé : tant que les profits immédiats l'emportent sur la durabilité à long terme, la destruction des écosystèmes se poursuit. Le thon rouge, la morue de l'Atlantique, le cabillaud, la sardine et de nombreuses autres espèces autrefois abondantes ont vu leurs populations s'effondrer en quelques décennies. Dans certains cas, comme celui de la morue au large de Terre-Neuve, les stocks ne se sont jamais rétablis, même après des décennies d'interdiction de pêche.

Le phénomène est amplifié par la « pêche fantôme » — ces filets abandonnés en mer qui continuent de piéger la faune marine pendant des années — et par les pratiques illégales, souvent encouragées par des réseaux transnationaux échappant à toute régulation. Les eaux internationales, en particulier, demeurent un Far West océanique où les contrôles sont quasi inexistants.

Le réchauffement et l'acidification : des mers hostiles à la vie

L’océan, longtemps perçu comme un régulateur climatique bienveillant, paye aujourd’hui le prix de sa générosité. En absorbant plus de 90 % de la chaleur excédentaire produite par les activités humaines, il se réchauffe à un rythme sans précédent. Ce réchauffement perturbe la circulation thermohaline, modifie la distribution des nutriments et provoque la migration massive des espèces vers des latitudes plus froides.

Les poissons tropicaux fuient des eaux devenues trop chaudes pour leur métabolisme, tandis que les espèces polaires voient leurs habitats se réduire à mesure que la banquise recule. Le réchauffement des eaux de surface entraîne également la diminution de l’oxygène dissous — un phénomène d’« hypoxie » qui transforme certaines zones marines en véritables déserts biologiques.

Parallèlement, l’absorption du dioxyde de carbone rend les océans plus acides. Ce processus altère les coquilles, les coraux, les crustacés et les planctons, c’est-à-dire les bases mêmes de la chaîne alimentaire marine. Sans plancton, il n’y a ni poissons, ni baleines, ni oiseaux marins. Les récifs coralliens, qui abritent environ 25 % de la biodiversité marine, sont en train de blanchir et de mourir à un rythme alarmant. Si les tendances actuelles se maintiennent, plus de 90 % d’entre eux auront disparu d’ici 2050.

Pollution, plastiques et zones mortes

À ces pressions s’ajoute une contamination diffuse mais dévastatrice. Chaque année, plus de dix millions de tonnes de plastique sont déversées dans les mers. Microplastiques, filets dérivants, emballages, microparticules issues des pneus ou des textiles : la mer est devenue une décharge à ciel ouvert. Ces déchets se fragmentent, s’accumulent dans les chaînes alimentaires, et finissent dans nos assiettes sous forme de microfibres invisibles.

Les zones côtières sont également victimes des effluents agricoles riches en nitrates et phosphates, responsables de proliférations algales massives. Ces « zones mortes » — plus de 700 recensées à travers le monde — sont dépourvues d’oxygène et incapables de soutenir la vie marine. La mer Baltique, le golfe du Mexique, la mer Jaune ou encore l’estuaire du Saint-Laurent en sont les exemples les plus emblématiques.

La sécurité alimentaire en péril

La disparition des poissons n’est pas seulement une tragédie écologique : elle menace la sécurité alimentaire et la stabilité sociale de vastes régions. Pour près de trois milliards d’humains, le poisson représente la principale source de protéines animales. Dans les pays côtiers d’Afrique, d’Asie et du Pacifique, la pêche artisanale assure à la fois la subsistance et l’économie locale. L’effondrement des stocks se traduit donc par des pertes économiques, une augmentation de la pauvreté et une dépendance accrue aux importations.

Les conflits pour les ressources halieutiques se multiplient : affrontements entre pêcheurs locaux et flottes étrangères, tensions diplomatiques autour des zones économiques exclusives, voire militarisation des mers comme en mer de Chine méridionale. À mesure que les poissons migrent vers les pôles, certaines nations voient leurs zones de pêche traditionnelles se vider tandis que d'autres, mieux situées, en tirent profit, accentuant encore les inégalités géopolitiques.

Repenser notre rapport à l'océan

La crise des océans révèle la limite du paradigme extractiviste. L'idée que la mer puisse se régénérer spontanément après chaque pillage est désormais obsolète. Des efforts de préservation émergent : sanctuaires marins, quotas de pêche, innovations en aquaculture durable. Mais ces mesures restent insuffisantes face à l'ampleur du problème. La restauration des écosystèmes marins nécessite des politiques coordonnées à l'échelle planétaire, la réduction drastique des émissions de CO_2, et une refonte complète du modèle économique de la pêche.

Certains chercheurs plaident pour une approche de « sobriété halieutique », consistant à consommer moins de poissons, à diversifier les sources de protéines et à protéger de larges zones océaniques de toute exploitation. D'autres envisagent des solutions technologiques comme la culture de poissons cellulaires ou le développement d'algues alimentaires, mais celles-ci ne résolvent pas la question fondamentale : la relation

de l’humanité à la nature doit changer si elle veut éviter la disparition totale de la faune marine.

La disparition des poissons n’est donc pas une fatalité biologique, mais une conséquence directe de choix humains. C’est une alerte sur la fragilité de la biosphère et sur notre dépendance envers un monde vivant que nous avons trop longtemps considéré comme acquis. Si les océans meurent, c’est toute la planète qui suffoque.

348 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

10.1 Océans vides : surpêche et effondrement des stocks

L’image d’un océan grouillant de vie appartient désormais au passé. Ce que l’on découvre aujourd’hui, des abysses aux zones côtières, c’est un monde appauvri, silencieux, dont les cycles naturels ont été brisés. La surpêche — cet appétit insatiable pour les ressources marines — est devenue l’un des symboles les plus flagrants de la démesure humaine. Pendant des décennies, les progrès technologiques, l’expansion économique et la mondialisation des échanges ont transformé les mers en champs d’exploitation industrielle. Les conséquences de cette course effrénée se mesurent désormais en effondrements écologiques, en crises sociales, et en déséquilibres planétaires irréversibles.

La grande accélération de la pêche industrielle

Jusqu’au milieu du XX^{e} siècle, la pêche restait une activité saisonnière, localisée et fondée sur des techniques artisanales. Mais à partir des années 1950, la révolution technologique et la motorisation massive des navires ont bouleversé cet équilibre ancestral. L’utilisation des sonars, des satellites, des radars et des filets géants a permis de repérer et de capturer les bancs de poissons à des profondeurs et des vitesses inimaginables auparavant.

En 1950, la capture mondiale annuelle avoisinait 20 millions de tonnes. En 1996, elle atteignait son pic historique à près de 130 millions de tonnes. Depuis, la production stagne, non pas parce

que les besoins diminuent, mais parce que les stocks s'effondrent. L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) estime qu'en 2023, **plus de 35 % des stocks mondiaux** sont surexploités, tandis que **près de 60 %** sont exploités à la limite de leur durabilité. Autrement dit, à peine 5 % des ressources halieutiques restent véritablement en bon état.

Les flottes industrielles des grandes puissances maritimes — Union européenne, Chine, Japon, Russie, États-Unis — se livrent une concurrence acharnée dans toutes les zones de pêche de la planète. La Chine, à elle seule, possède la plus grande flotte de pêche en eaux lointaines, avec plus de 17 000 navires sillonnant les côtes africaines, sud-américaines et pacifiques. Ces flottes sont souvent subventionnées, leur carburant exonéré, et leurs captures destinées à l'exportation vers les marchés mondiaux.

La chaîne écologique brisée

L'impact de la surpêche dépasse la seule disparition des espèces commerciales. Elle bouleverse toute la structure trophique des océans. Les grands prédateurs — thons, espadons, requins, morues — ont été les premiers visés. Leur déclin massif a entraîné une prolifération des espèces de niveau intermédiaire, souvent moins nutritives et plus fragiles. Ce déséquilibre, appelé **cascade trophique**, a des répercussions en chaîne sur les écosystèmes marins.

Lorsque les grands poissons disparaissent, les méduses, les calamars ou les petits pélagiques prennent leur place, modifiant profondément la composition biologique des mers. Dans certaines zones du Pacifique ou de l'Atlantique Nord, les méduses dominent désormais des espaces autrefois riches en morues ou en sardines. Ce basculement biologique est difficilement réversible : les écosystèmes appauvris se figent dans un nouvel équilibre de pauvreté écologique.

Les effets indirects sont tout aussi préoccupants : la destruction des habitats benthiques par le chalutage profond, la mortalité accidentelle des dauphins, tortues et oiseaux marins (prises accessoires), ainsi que la perturbation des cycles du carbone marin. En réduisant la biomasse globale des océans, la surpêche compromet la capacité de ceux-ci à absorber le dioxyde de carbone et à réguler le climat.

Le pillage des mers du Sud

Le phénomène de la surpêche illustre aussi la fracture Nord-Sud. Les eaux côtières des pays en développement, riches en biodiversité, sont devenues les terrains de chasse des flottes étrangères. En Afrique de l'Ouest, par exemple, des milliers de pêcheurs artisanaux peinent à survivre face à des chalutiers européens et asiatiques qui ratissent les fonds marins à quelques kilomètres des côtes. Ces pratiques, souvent illégales ou sous-dimensionnées par les accords bilatéraux, provoquent une véritable hémorragie alimentaire.

Au Sénégal, en Mauritanie ou au Ghana, les communautés de pêche artisanale perdent leurs moyens de subsistance, poussant une partie de la population vers l'exil. Les marchés locaux, privés de poissons abordables, se tournent vers des importations de produits congelés à faible valeur nutritionnelle. Ainsi, la surpêche ne détruit pas seulement la biodiversité : elle alimente aussi les inégalités et les migrations.

L'aquaculture : fausse solution ou nécessité transitoire ?

Face à l'effondrement des stocks sauvages, l'aquaculture — c'est-à-dire l'élevage de poissons, crevettes et mollusques — est souvent présentée comme une alternative durable. Elle fournit aujourd'hui plus de la moitié du poisson consommé dans le monde. Cependant, son expansion rapide s'accompagne de nombreux paradoxes.

L'aquaculture intensive dépend en grande partie de la farine et de l'huile de poisson, issues… de la pêche industrielle. Pour produire un kilogramme de saumon d'élevage, il faut en moyenne 1,2 à 1,5 kilogramme de poissons sauvages transformés. De plus, la concentration des élevages dans des zones côtières sensibles engendre des pollutions massives : déjections, antibiotiques, maladies transmissibles aux espèces sauvages. Dans certaines régions d'Asie, les mangroves — véritables nurseries naturelles — ont été détruites pour faire place à des bassins d'élevage de crevettes destinées à l'exportation.

Seule une aquaculture véritablement circulaire, fondée sur la diversification des espèces, l'utilisation d'algues et d'insectes comme aliments, et la réduction des rejets polluants, pourrait contribuer à la restauration d'un équilibre durable. Mais pour l'heure, la logique de profit rapide l'emporte encore largement sur la prudence écologique.

Un océan vidé, une humanité affamée

Si la tendance actuelle se poursuit, plusieurs études estiment que **les principaux stocks commerciaux pourraient s'effondrer d'ici 2048**. La perte des poissons marins ne serait pas seulement une catastrophe écologique, mais aussi une crise alimentaire mondiale. Près de trois milliards de personnes dépendent directement du poisson comme principale source de protéines animales. Pour des centaines de millions d'autres, notamment dans les régions côtières d'Afrique et d'Asie, la pêche constitue une activité économique vitale.

L'appauvrissement des mers menace donc la stabilité de pays entiers. L'histoire récente montre que les crises halieutiques précèdent souvent des crises politiques : au Chili, en Mauritanie, au Pérou, la disparition des ressources marines a provoqué des vagues de chômage, des migrations internes et une montée des tensions sociales. Dans un monde déjà fragilisé par le changement climatique, la raréfaction du poisson risque de devenir l'un des multiplicateurs de crise les plus puissants du siècle.

Préserver ce qui peut l’être

Face à l’ampleur du désastre, la communauté internationale tente d’agir. Les accords de l’ONU sur la haute mer (BBNJ – *Biodiversity Beyond National Jurisdiction*), signés en 2023, visent à protéger au moins 30 % des océans d’ici 2030. Plusieurs États ont instauré des moratoires sur certaines pêches (thon rouge, morue de l’Atlantique Nord) et renforcent les aires marines protégées. Ces mesures, si elles sont appliquées rigoureusement, peuvent permettre une régénération partielle des stocks — la nature, lorsqu’on lui en laisse le temps, sait retrouver un équilibre.

Mais les défis restent immenses. Le contrôle des flottes illégales, la transparence des chaînes d’approvisionnement, la réduction des subventions néfastes et la coopération internationale demeurent les conditions indispensables d’un redressement. Sans cela, l’humanité pourrait bien devenir la première espèce à assister, impuissante, à la disparition d’un monde qu’elle croyait infini.

356 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

10.2 Aquaculture, pollution et dérèglements marins

Dans l'horizon 2040-2050 que propose ce livre, l'essor de l'aquaculture apparaît comme l'un des pivots majeurs d'une dynamique alimentaire devenue critique — non plus seulement par la recherche de l'abondance, mais par la gestion d'un équilibre précaire entre extraction, production et résilience écologique. Toutefois, loin d'être une solution magique et durable, l'aquaculture véhicule des risques importants : pollutions localisées, flux de matière perturbés, et vulnérabilités accrues face aux dérèglements marins.

L'essor de l'aquaculture et ses logiques imposées

Depuis plusieurs décennies, la production aquacole a connu une croissance spectaculaire, devenant dans certains cas la principale source de produits de la mer consommés. Cette croissance est alimentée par deux logiques : d'un côté, la quête d'un « protéine bleue » plus « efficace » que l'élevage terrestre ; de l'autre, la pression sur les ressources halieutiques et la volonté de sécuriser l'alimentation humaine. Mais à l'orée des années 2040-2050, cette logique entre dans une phase de redéfinition : les coûts écologiques, énergétiques et infrastructures deviennent des facteurs limitants, ce qui annonce un tournant dans la relation entre abondance et durabilité.

Les pollutions internes et externes de l'aquaculture

L'aquaculture déclenche une série de pollutions directes et indirectes. Sur le plan direct, les élevages en mer — cages à poissons, parcs de coquillages, systèmes terrestres (RAS, filières terrestres) — libèrent des effluents riches en nutriments (azote, phosphore), en matière organique non consommée, en médicaments vétérinaires, en traitements antifouling ou antiparasitaires. Par exemple, dans plusieurs élevages terrestres norvégiens inspectés, 9 installations sur 10 présentaient des violations des réglementations de pollution : sédimentation excessive du fond marin, manque de contrôle des émissions, traitement inadapté des rejets. WEAREAQUACULTURE Cette accumulation contribue à des zones de sédimentation, à l'eutrophisation locale, voire à la création de zones hypoxiques dans des fjords ou baies mal ventilés.

Sur le plan indirect, l'aquaculture dépend fortement de matières premières externes : alimentation à base de farines et huiles de poisson, soja ou autres protéines importées, ce qui génère des impacts sur les pêcheries sauvages et les écosystèmes terrestres. Une étude récente montre que le ratio « poissons sauvages entrés : poissons d'élevage produits » (FI:FO) pourrait être de 0,36 à 1,15 voire jusqu'à 1,78 selon les espèces et les pratiques — bien plus élevé que ce que l'industrie déclarait jusqu'alors. feedbusinessmea.com Ce recours massif à des intrants externes fragilise la prétendue indépendance de l'aquaculture et offre un effet miroir de ce que l'on appelle « la fin de l'abondance » : les ressources marines

exploitées à outrance pour nourrir des élevages deviennent elles-mêmes un goulet d'étranglement.

Les effets des dérèglements marins sur l'aquaculture

À l'horizon 2040-2050, ce sont les dérèglements marins — en premier lieu le réchauffement des océans, l'acidification, l'appauvrissement en oxygène, l'apparition de phénomènes extrêmes — qui frappent avec le plus de force l'aquaculture. La diminution attendue de l'oxygène dans l'océan, l'augmentation des vagues de chaleur marine, le déplacement des espèces, l'apparition de maladies ou de parasites plus agressifs : autant de défis qui réduisent la productivité, augmentent les mortalités, affaiblissent les systèmes d'élevage. Par exemple, l'organisme chargé de l'aquaculture norvégienne relève que les chaleurs marines de 2024 ont accentué la pression des poux de mer sur les saumons migrateurs. SalmonBusiness

De plus, l'aquaculture intensive elle-même contribue à fragiliser la résilience des écosystèmes côtiers : elle modifie la qualité de l'eau, la dynamique sédimentaire, la biodiversité locale — ce qui réduit l'amplitude de manœuvre des systèmes naturels face aux chocs. Une étude portant sur les pays nordiques souligne que la production aquacole dans certaines conditions rend l'environnement plus vulnérable aux émissions de gaz à effet de serre et aux perturbations. SpringerLink

Vers la « fin de l’abondance » : trois scénarios dominants

Dans ce contexte, aborder l’aquaculture comme un panacée de l’abondance alimentaire apparaît illusoire. On peut plutôt envisager trois grands scénarios à la fin de l’abondance :

1. **Scénario de contraction quantitative** : la croissance de l’aquaculture ralentit, voire recule, sous l’effet combiné des limites d’intrants (farines de poisson, eau propre, énergie), de la concurrence pour l’espace maritime, et des coûts croissants de régulation environnementale. Dans cette perspective, les volumes produits ne suffisent plus à compenser la baisse des pêcheries, et l’alimentation marine se détourne partiellement vers des protéines alternatives (algues, culture cellulaire, mollusques non nourris).
2. **Scénario de réallocation qualitative** : l’aquaculture privilégie les espèces non carnivores, à faible impact nutritif, et adopte des systèmes fermés (RAS, aquaponie) ou intégrés, mais au prix d’un coût élevé. Il y a donc transition vers une production plus chère, plus localisée, et moins extensible à l’échelle globale. L’abondance est remplacée par la qualité et la durabilité.
3. **Scénario de crise systémique** : les dérèglements marins — tempêtes, phénomènes extrêmes, effondrements d’écosystèmes — frappent certains grands bassins d’aquaculture, provoquant accumulation de pertes, fermeture d’installations, faillites, et

réduction de l’offre de produits marins. La fragilité du modèle élevé est révélée, et un retour en arrière s’amorce, non volontaire mais contraint.

Implications pour la gouvernance et les politiques

Dans ce futur, la gouvernance de l’aquaculture doit intégrer trois axes essentiels :

- **Coupler la croissance à une évaluation rigoureuse des impacts** : l’émergence d’un feed-back exigeant — obligations de traitement des rejets, limitation des intrants sauvages, suivi de la qualité de l’eau — devient incontournable. En Norvège, l’agence de l’environnement a déjà constaté un taux élevé de non conformité dans les fermes terrestres. WEAREAQUACULTURE
- **Intégrer les dérèglements marins dans les scénarios de production** : les systèmes doivent être résilients — prévoir des marges face aux vagues de chaleur, à l’acidification et au déplacement des espèces hôtes. Cela implique des investissements lourds et une planification spatiale rigoureuse.
- **Repenser la chaîne d’alimentation de l’aquaculture** : réduire la dépendance aux farines et huiles de poisson, développer des régimes alternatifs, privilégier les espèces à moindre pression sur les ressources sauvages, imposer une transparence accrue sur le ratio FI:FO et l’effet sur les écosystèmes sauvages. Le récent

ajustement à la hausse des ratios d’entrée de poissons sauvages dans la production d’élevage est déjà un signal fort. feedbusinessmea.com

Le rôle symbolique de l’aquaculture dans la fin de l’abondance

Au-delà des aspects techniques, l’aquaculture joue un rôle métaphorique dans la thématique de « la fin de l’abondance ». Elle incarne l’idée que l’augmentation indéfinie des rendements — qu’il s’agisse de la terre, de la mer ou de l’élevage — bute désormais sur des contraintes systémiques. L’aquaculture, qui promettait de libérer le monde de la dépendance à la pêche sauvage, révèle ses propres limites : elle dépend elle-même de ressources externes, elle produit des pollutions, et elle est vulnérable aux dérèglements qui s’accélèrent.

Ainsi, à l’horizon 2040-2050, ce ne sera plus tant la question de « produire plus » que de « produire mieux, avec moins » qui déterminera la trajectoire des systèmes alimentaires marins. L’abondance illimitée — souvent promise mais rarement atteinte — laisse place à un modèle d’adaptation, de sobriété productrice et de renforcement de la résilience. Dans ce cadre, l’aquaculture ne disparaît pas, loin de là ; mais son rôle change profondément. Elle devient partie intégrante d’un écosystème alimentaire repensé, obligé de tenir compte de ses propres externalités et des limites naturelles de la mer.

Conclusion

À l’intersection entre ambition industrielle et écosystèmes marins fragilisés, l’aquaculture incarne les paradoxes de notre époque : promesse d’abondance, mais vecteur de pression; outil de sécurité alimentaire, mais amplificateur de vulnérabilités. Dans un monde en transition vers la fin de l’abondance, la gestion de l’aquaculture — de ses intrants, de ses rejets, de son impact — devient un enjeu stratégique. Elle exige une transformation profonde : de l’accroissement extensif à la production circonspecte, de l’expansion à la régénération, de l’abondance automatique à la durabilité active.

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 365

10.3 Les conséquences alimentaires et économiques

Dans la perspective des années 2040-2050, la montée en puissance de l'aquaculture et ses liens croissants avec les systèmes alimentaires mondiaux laisseront une empreinte profonde tant sur les équilibres alimentaires que sur les dynamiques économiques. Il s'agit d'un double mouvement : d'un côté, l'aquaculture comme pilier alimentaire face à la stagnation des pêcheries sauvages ; de l'autre, les coûts, les tensions et les arbitrages qui en découlent pour l'économie mondiale.

Les effets sur l'alimentation mondiale

D'une part, la demande en produits aquatiques (« blue foods ») est appelée à grimper fortement. Une étude menée par le Stockholm Resilience Centre indique que la consommation de produits aquatiques pourrait passer d'environ 80 millions de tonnes (poids vif) à près de 155 millions de tonnes d'ici 2050. stockholmresilience.org Cela témoigne du rôle grandissant de l'aquaculture dans l'alimentation humaine et de la pression sur les systèmes de production marins.
D'autre part, la production issue de l'aquaculture joue un rôle essentiel dans la couverture des besoins en protéines animales : selon le World Resources Institute (WRI), si l'aquaculture double sa production d'ici 2050, elle pourrait contribuer à combler une partie significative du « gap » entre la consommation prévue de protéines animales et l'offre actuelle.

World Resources Institute
Mais ce renforcement alimentaire ne va pas sans compromis :

- La dépendance à des intrants — alimentation, énergie, eau — s'accentue. Il ne suffit plus de produire plus, il faut produire mieux, dans un contexte de ressources limitées. World Resources Institute
- Les prix pour le consommateur risquent de monter, notamment parce que les coûts de production de l'aquaculture sont orientés à la hausse. Une étude de l'Union européenne indique qu'en 2022 l'énergie et l'alimentation représentaient des parts du coût beaucoup plus élevées qu'en 2020. eumofa.eu
- Les disparités régionales vont se creuser : les pays à revenu faible ou intermédiaire, dépendants de la pêche et de l'aquaculture pour la nutrition, seront parmi les plus vulnérables aux perturbations (climatiques, logistiques, sanitaires). stockholmresilience.org

En somme, l'accès alimentaire devient une question d'offre **et** de coût, ce qui modifie profondément l'approche de « l'abondance ». Produire plus ne garantit plus produire de façon abordable.

Les implications économiques

Sur le plan économique, l'aquaculture se transforme en un secteur stratégique, soumis à de fortes tensions et évolutions. Quelques grands effets méritent d'être soulignés :

- **Coûts de production et retour sur investissement** : le passage à des systèmes plus intensifs ou technologiquement avancés (par exemple les systèmes de recirculation, RAS) impose des coûts d'énergie, de matériel, d'infrastructures très élevés. Une étude en Norvège montre que la consommation énergétique d'un élevage terrestre de saumon peut atteindre 13,6 kWh/kg produit, soit 11 à 28 fois celle d'un élevage conventionnel en mer. PwC Cette augmentation des coûts freine les investisseurs et fragilise les modèles économiques fondés sur l'expansion rapide.
- **Fiscalité et régulation** : plusieurs pays renforcent la taxation du secteur aquacole, ce qui modifie la rentabilité. Le rapport de KPMG précise que la Norvège impose un impôt sur la rente des ressources aquacoles, susceptible de réduire la production de 9 % d'ici 2032. KPMG
- **Chaînes de valeur et intrants mondiaux** : l'aquaculture dépend de marchés internationaux pour les aliments, les juvéniles, l'énergie, les infrastructures. Cette globalisation entraîne des vulnérabilités : variabilité des prix, instabilité logistique, concurrence accrue.
- **Effets d'emploi et développement local** : l'aquaculture peut stimuler l'emploi, notamment dans les pays en développement, mais elle exige aussi des compétences, des investissements, et peut accroître les inégalités entre

exploitations familiales et grandes fermes industrielles. arXiv

Au niveau macro-économique, l'aquaculture devient un élément de sécurité alimentaire mais aussi de compétitivité économique nationale : les pays qui réussissent à aligner production, coûts, accès aux marchés et durabilité auront un avantage stratégique. En revanche, ceux qui ne parviennent pas à ajuster leur modèle risquent de subir des fragilités accrues à l'horizon 2040-2050.

Les tensions entre abondance, coût et durabilité

Pour le thème central de ce livre — **la fin de l'abondance** — l'aquaculture illustre bien la tension entre :

- l'aspiration à produire toujours davantage pour nourrir une population croissante,
- la montée des coûts (énergie, alimentation, infrastructures) et des risques (climatiques, sanitaires, logistiques),
- la nécessité de produire dans des conditions durables — et donc souvent plus coûteuses.

Concrètement, plusieurs effets convergent :

- Le « prix de l'abondance » augmente. Même si la quantité produite monte, le coût unitaire risque de croître — ce qui redevient un frein à l'accès pour les consommateurs les plus vulnérables.

- Le modèle « volume à bas coût » devient davantage challengé. À l'horizon 2040-2050, il faudra sans doute choisir entre quantité **ou** durabilité, ou bien accepter un niveau d'abondance moindre que prévu.
- L'aquaculture se rapproche d'un modèle de **sobriété relative** : optimisation des ressources, localisation, technicité accrue, et meilleurs coûts d'entrée mais accès plus limité.
- Enfin, l'effet domino alimentaire-économique est réel : si l'aquaculture devient plus coûteuse, cela se répercute sur les prix alimentaires, sur les investissements dans les pays en développement, sur la balance commerciale des États dépendants des importations de produits aquatiques.

Scénarios économiques et alimentaires pour 2040-2050

Dans le cadre de ces dynamiques, on peut envisager plusieurs scénarios économiques et alimentaires pour la période 2040-2050 :

1. **Scénario de modération contrôlée** : la production aquacole augmente, mais à un rythme modéré, les coûts sont maîtrisés via innovation technologique (alimentation alternative, automatisation, systèmes fermés), et les prix alimentaires restent accessibles. L'abondance reste relative mais gérée.

2. **Scénario de montée des coûts et des inégalités** : la production augmente mais les coûts grimpent — certains pays ou consommateurs en sont exclus. L'abondance existe mais devient segmentée. Les pays faibles restent dépendants d'importations et vulnérables aux prix.
3. **Scénario de contraction ou de crise** : les coûts, les dérèglements marins, les défis sanitaires ou d'infrastructures provoquent une stagnation ou même une réduction de la production aquacole dans certains territoires. Cela entraîne une montée des prix, une baisse de l'offre, une pression sur les autres systèmes alimentaires terrestres.

Chacun de ces scénarios porte des implications pour la souveraineté alimentaire, la sécurité nutritionnelle et l'équité économique.

Implications pour les acteurs et recommandations

Pour les gouvernements, les entreprises et les acteurs de l'alimentation :

- Il faut anticiper les coûts réels de l'aquaculture et ne pas tabler uniquement sur une croissance « naturelle ». Les politiques publiques doivent inclure des mesures de soutien à l'innovation, à la réduction des intrants, à la formation, et prendre en compte la fiscalité et la régulation.

- Il convient d’intégrer les risques — dérèglements climatiques, augmentation de l’énergie, ruptures logistiques — dans les plans d’investissement et de production.
- Il est essentiel de veiller à ce que la croissance de l’aquaculture soit **inclusive**, en particulier dans les pays en développement, afin d’éviter que les bénéfices ne soient captés uniquement par des acteurs déjà puissants.
- Enfin, il faut coupler la production aquacole à une vision alimentaire globale : quelle place pour les poissons d’élevage dans la diète humaine ? Quel partage entre volume et qualité nutritionnelle ? Quel rôle pour des protéines alternatives ?

Conclusion de la section

Dans la vision 2040-2050 du monde que décrit ce livre, l’aquaculture ne sera plus simplement un levier d’« abondance » en mode expansion illimitée. Elle deviendra un système alimentaire **complexe**, soumis à des contraintes de coûts, d’environnement, de technologie, et d’équité. Les conséquences alimentaires et économiques sont profondément imbriquées : elles invitent à repenser la notion même d’abondance — non plus comme quantité infinie, mais comme accès maîtrisé, sécurisé, et équitable. Pour les économies, cela signifie que l’aquaculture cesse d’être un simple secteur « alimentaire » : elle devient un **pilier stratégique** de

souveraineté, un champ d’investissement et de risque, un enjeu de justice économique.

374 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 375

11. Le déclin de la faune terrestre

Un phénomène globalisation de la perte de biodiversité terrestre

Au cours des dernières décennies — et a fortiori à l'horizon 2040-2050 dans la trajectoire que ce livre dessine — la faune terrestre est soumise à une pression sans précédent. Les chiffres parlent d'eux-mêmes : selon le WWF, les populations de vertébrés surveillées ont décliné en moyenne de **69 % depuis 1970** dans les milieux terrestres. Encyclopedia Britannica World Wildlife Fund
Cette tendance traduit un affaiblissement structurel des écosystèmes terrestres — non seulement par l'extinction d'espèces, mais par la réduction massive et continue des populations.

Principales causes identifiées

Perte, fragmentation et dégradation des habitats

La destruction et la modification des habitats naturels restent la cause première du déclin des espèces terrestres. Le glissement d'espaces riches en biodiversité vers des terres agricoles, des zones urbaines ou d'extraction minière prive la faune de ressources essentielles : nourriture, refuge, corridors de migration. World Animal Protection National Wildlife Federation La fragmentation, en particulier, réduit la taille des populations, augmente l'isolement génétique, et rend les espèces plus vulnérables aux aléas.

Surexploitation, chasse et commerce des espèces

La pression directe exercée sur la faune — chasse, trafic d'animaux sauvages, prélèvements — reste un facteur important. Même lorsque les quotas sont réglementés, le modèle de prélèvement pousse souvent les espèces vers des seuils critiques. Gouvernement du Canada

Espèces invasives et perturbations des écosystèmes

Les espèces introduites — grands prédateurs, herbivores ou compétiteurs — modifient les dynamiques écologiques locales, souvent au détriment des espèces autochtones. L'exemple australien est frappant : de nombreux mammifères d'outback sont décimés non seulement par la perte d'habitat, mais aussi par la prédation de chats errants et de renards introduits. PMC

Pollution, changement climatique et altérations indirectes

Les contaminants, l'acidification, la modification des cycles de l'eau, l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes, sont autant de facteurs aggravants qui fragilisent les populations. Gouvernement du Canada Le changement climatique vient en outre redéfinir les aires de répartition, modifier les saisons de reproduction et faire basculer des habitats entiers.

Scénarios pour 2040-2050 : impacts et trajectoires

À l'horizon 2040-2050, trois grandes trajectoires peuvent être envisagées pour la faune terrestre dans le contexte global de « la fin de l'abondance ».

Scénario de « réduction contrôlée »

Dans ce scénario, la diminution des populations se poursuit mais à un rythme ralenti grâce à des politiques renforcées de conservation, de restauration écologique et de gestion durable des terres. Certaines espèces « sentinelles » tiennent encore mais sont en retrait : les volumes, les densités et la connectivité sont réduits par rapport aux décennies dorées. L'abondance devient relative, localisée, fragmentée.

Scénario de « sélection de résilience »

Certains habitats terrestres entrent dans une logique de résilience accrue : parcs protégés élargis, corridors biologiques restaurés, co-gestion avec les populations locales. Cependant, seule une partie de la faune peut bénéficier de cette reconnaissance. Beaucoup d'espèces « intermédiaires » ou moins emblématiques sont reléguées à des niches réduites ; l'abondance globale diminue, mais les espèces les plus adaptables ou soutenues par des efforts humains survivent mieux.

Scénario de « crise systémique et appauvrissement »

Dans ce cas, les effets cumulatifs — perte d'habitat, changement climatique, catastrophes, effondrements de populations clés — provoquent un basculement d'écosystèmes terrestres entiers. La faune devient très réduite, les espèces pionnières ou invasives dominant. L'abondance devient un bien rare, les interactions écologiques sont appauvries, et les fonctions écosystémiques (pollinisation, régulation des

herbivores, cycle des nutriments) montrent des signes de défaillance.

Conséquences pour les systèmes écologiques, alimentaires et économiques

Effets sur les services écosystémiques

La faune terrestre joue un rôle clé dans l'ensemble des services naturels : dispersion des graines, maintien des sols, régulation des populations d'insectes, pollinisation, cycle du carbone. Une faune appauvrie signifie un affaiblissement de ces services — ce qui pèse sur les rendements agricoles, la stabilité des forêts, la résilience face aux perturbations climatiques.

Impact alimentaire et rural

Dans les zones rurales, nombreuses sont les communautés qui dépendent tant de la faune terrestre (chasse, tradition, complément alimentaire) que des écosystèmes associés. La réduction des populations animales terrestres modifie les régimes alimentaires, génère des vulnérabilités nutritionnelles et accroît la dépendance à des ressources plus concentrées, moins diversifiées.

Répercussions économiques

L'effondrement ou la réduction des populations fauniques ont des effets économiques tangibles :

- Baisse des revenus liés à l'observation de la nature, au tourisme vert.

- Augmentation des coûts de restauration écologique et d'« assurance » naturelle contre les risques (inondations, glissements).
- Pression sur les secteurs agricoles convertis en « substitut » d'écosystème – avec davantage de dépenses en intrants pour compenser la perte d'efficience naturelle.

Vers une repensée de l'abondance terrestre

Comme pour l'aquaculture ou les ressources marines, la question pour la faune terrestre n'est plus uniquement « combien » mais « dans quelles conditions ». L'abondance illimitée des écosystèmes terrestres — naguère considérée comme acquise — n'est plus un horizon réaliste à l'échelle planétaire.

- Il faut passer de la croissance ou de l'expansion des populations fauniques à la **gestion stratégique**, à la **qualité des habitats**, à la **connectivité et résilience**.
- L'abondance devient *sélective* : plutôt que « plus d'animaux partout », il s'agira de « des populations viables là où l'on peut les soutenir ».
- Les territoires humains et la faune s'apprennent à coexister dans des formes plus intégrées : mosaïques agricoles-nature, corridors, zones tampons, gestion adaptative.

Conclusion

Le déclin de la faune terrestre est un des angles majeurs de ce livre « Le monde en 2040-2050 – la fin de l'abondance ». Il incarne la transition vers un monde où l'abondance n'est plus donnée, mais conquise et maintenue avec effort. La faune terrestre ne disparaît pas entièrement — mais elle change d'échelle, de densité, de répartition. L'enjeu des décennies à venir sera de savoir **comment** maintenir l'essentiel pour que la vie sauvage terrestre conserve sa valeur écologique, culturelle et alimentaire dans un monde contraint.

382 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

11.1 L’extinction silencieuse des espèces sauvages

Sous l’expression d’« extinction silencieuse » se cache un processus insidieux et souvent invisible : celui de la disparition progressive des espèces sauvages, non pas dans un fracas spectaculaire d’effondrement total, mais dans une lente érosion des populations, des comportements et des équilibres écologiques. À l’horizon 2040-2050, cette extinction silencieuse s’impose comme l’un des phénomènes les plus marquants du déclin de la faune terrestre — un effacement discret, mais profond, du tissu vivant de la planète.

Cette extinction ne se manifeste pas toujours par la disparition complète d’une espèce. Dans bien des cas, les individus existent encore, mais à des niveaux si faibles qu’ils cessent de jouer leur rôle écologique. Les grands mammifères d’Afrique, les oiseaux des campagnes européennes, les amphibiens d’Amérique latine ou les insectes pollinisateurs ne disparaissent pas du jour au lendemain ; ils s’effacent peu à peu, réduits à l’état de vestiges d’écosystèmes autrefois dynamiques.

Ce phénomène s’explique par un faisceau de pressions cumulatives : perte d’habitats, fragmentation, pollution chimique, surexploitation, maladies émergentes et, de plus en plus, réchauffement climatique. Ces facteurs agissent en synergie, amplifiant leurs effets. L’habitat se rétrécit, la nourriture se raréfie, les corridors écologiques se ferment. Les populations s’isolent, leur diversité génétique s’amenuise, et

leur capacité d'adaptation décline. L'extinction devient alors un processus progressif, non un événement soudain.

L'un des aspects les plus inquiétants de cette extinction silencieuse est son invisibilité sociale. Elle se déroule en dehors du champ de perception de la majorité des populations humaines : la faune terrestre s'efface loin des centres urbains, dans des zones rurales ou forestières peu observées. Les générations qui grandissent dans les années 2040 n'auront souvent jamais connu la richesse biologique que leurs grands-parents considéraient comme banale. C'est ce que les biologistes appellent le *shifting baseline syndrome* : la ligne de référence change à chaque génération, si bien que la perte d'abondance devient la nouvelle normalité.

Les espèces dites « communes », longtemps jugées inépuisables, sont particulièrement touchées. Les oiseaux insectivores, les chauves-souris, les reptiles des zones agricoles et les insectes pollinisateurs connaissent des chutes massives de population. Une étude européenne a montré que les oiseaux des campagnes ont diminué de plus de 50 % depuis 1980, principalement à cause de l'agriculture intensive et de la raréfaction des insectes. En parallèle, la biomasse totale d'insectes a chuté de 70 % en quelques décennies dans certaines régions tempérées. Ces baisses n'ont pas la visibilité émotionnelle d'une extinction de tigre ou d'éléphant, mais elles sont écologiquement plus graves : elles désarticulent les réseaux trophiques et fragilisent l'ensemble du vivant.

L’extinction silencieuse est aussi sociale et économique. Elle prive les communautés rurales de ressources essentielles : gibier, pollinisation naturelle, contrôle biologique des ravageurs. Elle modifie les paysages, appauvrit les sols, rend les cultures plus dépendantes des intrants chimiques. Les coûts de cette disparition progressive ne se mesurent pas seulement en pertes d’espèces, mais en affaiblissement global de la résilience des territoires.

Face à cette extinction, la conservation classique — centrée sur les espèces emblématiques — montre ses limites. Les efforts ponctuels de sauvegarde ne suffisent plus ; c’est le fonctionnement systémique des écosystèmes qu’il faut préserver. Cela passe par la restauration des continuités écologiques, la régénération des sols, la limitation des polluants persistants et une reconsidération du modèle agricole dominant.

À l’horizon 2040-2050, le risque majeur est que cette extinction silencieuse atteigne un seuil irréversible : lorsque les populations descendront sous un seuil critique, aucune restauration ne sera possible, même en cas d’effort futur. L’extinction deviendra alors non seulement biologique, mais fonctionnelle : les écosystèmes perdront leur capacité d’auto-régulation et basculeront vers des états simplifiés, dominés par quelques espèces opportunistes.

Ainsi, la fin de l’abondance biologique ne se produit pas dans le vacarme d’une catastrophe soudaine, mais dans le murmure constant d’un monde qui s’appauvrit. Cette extinction silencieuse traduit le passage d’une planète de diversité à une

planète d’homogénéité, où la nature subsiste encore, mais dans un état réduit, sous tension, souvent artificialisé. C’est dans ce glissement discret, presque imperceptible au quotidien, que réside l’un des défis les plus redoutables du XXIe siècle : comprendre que la disparition du vivant n’est pas un spectacle lointain, mais un effacement progressif du monde dont dépend notre propre survie.

388 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

11.2 Agriculture intensive et effondrement de la biodiversité

L'agriculture intensive représente l'un des moteurs les plus puissants et les plus persistants du déclin de la biodiversité terrestre. À mesure que la population mondiale s'est accrue et que la demande alimentaire s'est mondialisée, les surfaces agricoles se sont étendues, les rendements se sont intensifiés, et la logique de productivité s'est imposée au détriment des équilibres écologiques. À l'horizon 2040-2050, ce modèle entre dans une zone critique : il ne s'agit plus seulement d'une pression environnementale parmi d'autres, mais d'un facteur central d'effondrement de la biodiversité planétaire.

Depuis la seconde moitié du XX^{e} siècle, les paysages agricoles se sont métamorphosés : les prairies naturelles ont cédé la place à des monocultures, les haies et bosquets ont été arrachés, les zones humides drainées, et les sols artificialisés par la mécanisation lourde. En parallèle, la chimisation de l'agriculture – engrais azotés, pesticides, herbicides, fongicides – a modifié profondément les cycles biologiques. Les sols se sont appauvris en matière organique, les micro-organismes se sont raréfiés, et la faune des champs a disparu dans un silence de plus en plus dense.

Le problème n'est pas seulement spatial — la conversion d'écosystèmes naturels en terres cultivées — mais aussi **fonctionnel**. En remplaçant la diversité biologique par une uniformité génétique, l'agriculture intensive efface la complexité du vivant. Les monocultures de maïs, de blé ou de

soja créent des déserts écologiques où seules quelques espèces opportunistes subsistent. La productivité immédiate masque une perte de résilience profonde : les systèmes agricoles deviennent dépendants des apports extérieurs, vulnérables aux maladies, aux aléas climatiques, et à la dégradation des sols.

Les pollinisateurs sont parmi les premières victimes de cette intensification. L'usage massif de néonicotinoïdes et d'insecticides de nouvelle génération a provoqué une chute spectaculaire des populations d'abeilles, de bourdons et de papillons. Dans certaines régions d'Europe, les populations d'insectes volants ont diminué de plus de 75 % en moins de trente ans. Cette disparition dépasse la seule question du miel : elle compromet la reproduction de près de 80 % des plantes à fleurs cultivées ou sauvages, réduisant la diversité alimentaire et la stabilité des écosystèmes.

Les sols, quant à eux, subissent un processus d'appauvrissement progressif. L'érosion, la compaction mécanique, la perte de matière organique et la contamination chimique ont conduit à une baisse de fertilité globale. D'ici 2050, on estime qu'un tiers des sols cultivables pourrait être gravement dégradé si les tendances actuelles se maintiennent. Cette dégradation prive la faune édaphique — vers de terre, coléoptères, champignons, bactéries — de son habitat, détruisant les fondations invisibles de la biodiversité terrestre.

L'agriculture intensive affecte également les milieux périphériques : les écoulements de nutriments et de pesticides contaminent les rivières, les nappes phréatiques et les zones

humides. Ce ruissellement provoque des phénomènes d'eutrophisation et d'hypoxie dans les milieux aquatiques, et altère les chaînes trophiques jusqu'aux écosystèmes marins côtiers. La frontière entre agriculture et nature devient ainsi floue : les impacts du champ se propagent dans l'ensemble du système écologique.

Sur le plan socio-économique, le modèle intensif crée un paradoxe. Il nourrit le monde à court terme mais appauvrit la base écologique qui rend cette production possible. En rendant les exploitations dépendantes de l'énergie fossile, de la chimie de synthèse et des importations de matières premières (comme le soja pour l'alimentation animale), il s'expose à des vulnérabilités systémiques. L'épuisement des sols, la rareté de l'eau et les crises climatiques multiplient les coûts et les risques. En ce sens, l'agriculture intensive participe pleinement à la logique de « fin de l'abondance » : la productivité maximale d'hier devient la fragilité de demain.

Certaines régions, déjà affectées par la désertification ou la salinisation des sols, montrent les prémices de cette bascule. En Afrique subsaharienne, en Asie du Sud ou dans le sud de l'Europe, les rendements stagnent malgré l'augmentation des intrants, signe d'une dégradation structurelle. Dans les pays industrialisés, la biodiversité agricole s'effondre : les oiseaux des plaines, naguère omniprésents, ont perdu plus de la moitié de leurs effectifs en quarante ans. Le moineau domestique, symbole des villes et campagnes, est aujourd'hui en recul marqué dans plusieurs pays européens.

À l’horizon 2040-2050, trois dynamiques peuvent être envisagées :

- **La continuité de l’intensification**, où la pression sur la biodiversité s’accroît jusqu’à un point de rupture écologique. Les terres deviennent des systèmes industriels de production alimentaire, déconnectés des cycles naturels.
- **La transition agroécologique**, où l’on tente de restaurer la biodiversité fonctionnelle par la diversification des cultures, la réduction des intrants, la plantation de haies et la régénération des sols. Cette voie exige des investissements, une refonte des politiques agricoles et une acceptation d’une productivité plus modeste à court terme.
- **Le scénario mixte**, plus probable, où certaines zones entrent en régénération tandis que d’autres s’enfoncent dans la sur-exploitation. Le monde agricole se polarise entre durabilité et intensification terminale.

L’enjeu est donc autant culturel que technique. Il s’agit de redéfinir la notion même de rendement : non plus seulement la quantité par hectare, mais la qualité écologique du système qui la produit. Produire sans biodiversité revient à épuiser la matrice vivante de la fertilité. Restaurer la diversité du sol, des insectes, des plantes et des paysages devient une condition de survie agricole, non une option morale.

En définitive, l’agriculture intensive est le miroir de la fin de l’abondance : un modèle fondé sur l’illusion de ressources infinies, désormais rattrapé par les limites biophysiques de la Terre. L’effondrement de la biodiversité n’est pas un effet secondaire de ce système, mais son symptôme le plus révélateur. Si l’humanité veut continuer à se nourrir dans les décennies à venir, elle devra réapprendre à produire en résonance avec la vie, non contre elle.

11.3 Les écosystèmes artificiels du futur

À mesure que les écosystèmes naturels s'effondrent sous la pression combinée du changement climatique, de l'urbanisation et de l'agriculture intensive, une nouvelle ère s'ouvre : celle des **écosystèmes artificiels**. Loin d'être une vision de science-fiction, ce scénario se déploie déjà sous nos yeux, porté par la convergence des biotechnologies, de la robotique environnementale et de l'ingénierie écologique. À l'horizon 2040-2050, la Terre pourrait devenir un vaste assemblage d'environnements hybrides — à moitié naturels, à moitié artificiels — où la survie du vivant dépendra de la capacité humaine à recréer, réguler et maintenir des équilibres écologiques substitués.

Ces nouveaux écosystèmes naissent d'abord de la nécessité : pallier les pertes irréversibles causées par la dégradation des milieux naturels. Lorsque les pollinisateurs sauvages disparaissent, des drones-mouches prennent le relais ; lorsque les sols s'appauvrissent, des capteurs et micro-robots réensemencent les bactéries utiles ; lorsque les forêts s'éteignent, des plantations synthétiques, génétiquement modifiées pour résister à la sécheresse ou au gel, assurent un semblant de régulation climatique. Le monde du vivant, jadis autonome, devient un système assisté, où la maintenance biologique s'ajoute à la maintenance technologique.

Dans les villes, cette artificialisation prend la forme d'une **écologie urbaine augmentée** : toits végétalisés, serres verticales, bassins d'épuration biologique, forêts urbaines sous

dômes transparents. Ces structures permettent de maintenir des fragments de biodiversité, mais dans des conditions strictement contrôlées. L'air, la lumière, l'humidité et les nutriments y sont régulés par algorithmes. La nature n'est plus libre : elle est gérée, calibrée, rationalisée. Ce que l'on nomme encore « nature » devient un produit de conception, intégré aux architectures humaines, plus proche d'un dispositif que d'un écosystème autonome.

En milieu rural, les **écosystèmes de production artificiels** s'imposent progressivement. Les fermes verticales, les serres hydroponiques et les cultures en atmosphère contrôlée se multiplient. Elles consomment moins d'eau, utilisent peu ou pas de pesticides, et permettent une production continue. Mais elles réduisent la relation biologique au sol, à la faune, au cycle des saisons. Le vivant y est réduit à sa fonction utilitaire : produire des calories, filtrer de l'eau, capter du carbone. La biodiversité y devient fonctionnelle et non plus existentielle.

Parallèlement, la biologie de synthèse redéfinit les frontières de la vie. Des chercheurs conçoivent des micro-organismes capables d'absorber les polluants, de fixer le carbone ou de régénérer des sols épuisés. Des espèces hybrides — mi-naturelles, mi-artificielles — sont introduites pour stabiliser des écosystèmes dégradés. Ces innovations, bien qu'efficaces à court terme, soulèvent des questions éthiques et écologiques majeures : quelles seront les interactions imprévues entre ces organismes artificiels et le vivant résiduel ? Que se passera-t-il

si ces systèmes échappent au contrôle ou s'effondrent faute de maintenance ?

Les **écosystèmes artificiels du futur** seront également marqués par la fragmentation spatiale. Les zones encore naturelles — réserves protégées, forêts primaires résiduelles — deviendront des sanctuaires isolés, entourés d'espaces anthropisés entièrement régulés. La continuité écologique disparaîtra au profit d'une mosaïque de bulles biotiques semi-fermées. Dans ce monde fragmenté, la diversité sera conservée sous forme de banques de gènes, de parcs-biodiversité sous dôme, ou de programmes de réintroduction virtuelle via clonage et édition génétique. La nature deviendra un patrimoine à entretenir, non un flux vivant et autonome.

Certains y verront une victoire technologique : l'humanité aura enfin trouvé le moyen de contrôler et de compenser ses propres destructions. D'autres y liront une défaite spirituelle et écologique : l'abandon du vivant libre au profit d'un simulacre de nature. Ces systèmes artificiels peuvent stabiliser des fonctions — régulation du climat, purification de l'eau, production alimentaire — mais ils ne remplacent pas la richesse émergente, imprévisible et évolutive des écosystèmes naturels. Là où la forêt sauvage abritait des milliers d'interactions inconnues, l'écosystème artificiel n'en reproduira que quelques dizaines, calibrées selon les besoins humains.

À long terme, le risque est celui d'une **dépendance technologique du vivant**. Une fois les systèmes naturels

effondrés, l'humanité ne pourra plus se permettre de les laisser s'éteindre : il faudra les maintenir comme des infrastructures vitales. Des ingénieurs de la biodiversité succéderont aux écologues, des réseaux de maintenance planétaire remplaceront les cycles naturels. Cette artificialisation du monde transformera le rapport de l'humanité à la nature : de cohabitation, il deviendra administration.

Pourtant, tout n'est pas sombre dans cette perspective. Certains projets d'écologie régénérative cherchent à réconcilier technologie et nature. L'utilisation de l'intelligence artificielle pour restaurer des sols, la réintroduction d'espèces à partir de modèles écologiques dynamiques, ou la conception de corridors écologiques intelligents offrent des pistes prometteuses. Mais ces initiatives ne pourront compenser l'effondrement global que si elles s'accompagnent d'une réduction de l'empreinte humaine et d'un renversement culturel : accepter de redonner de l'espace, du temps et de l'autonomie au vivant.

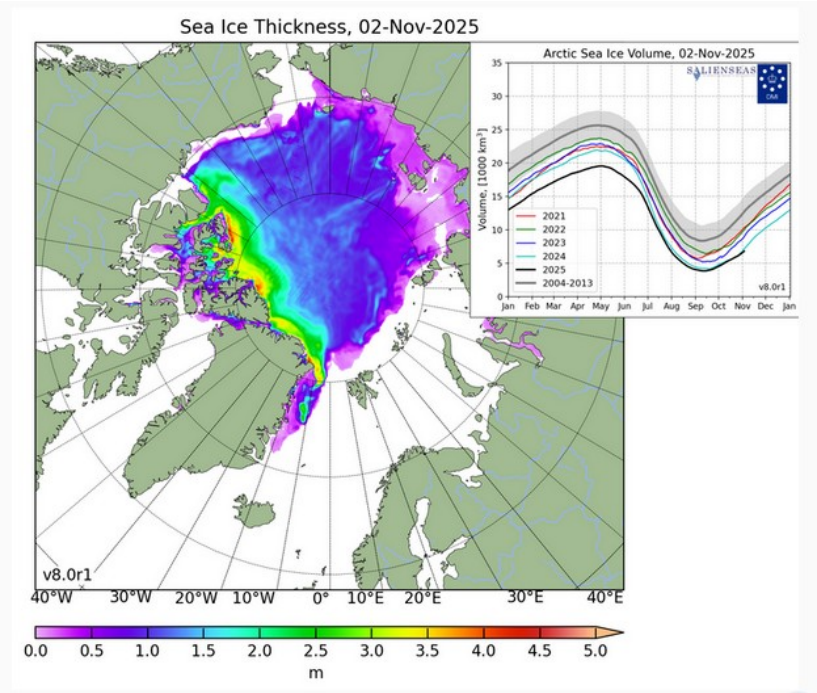
Ainsi, les écosystèmes artificiels du futur incarnent le double visage du monde post-abondance : d'un côté, la maîtrise technologique d'une nature sous assistance ; de l'autre, la nostalgie d'un vivant libre, désormais relégué aux marges. Entre ces deux pôles se jouera la grande question écologique de la seconde moitié du XXIe siècle : voulons-nous vivre dans un monde où la nature survit grâce à nos machines, ou dans un monde où elle peut encore exister sans nous ?

400 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 401

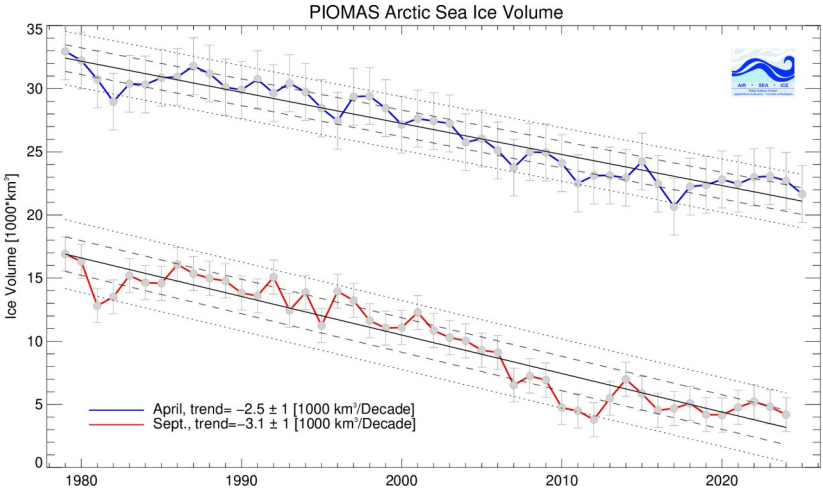
12. L’Arctique sans glace

L’Arctique a longtemps été perçu comme le dernier bastion du froid, un espace immuable, hors du temps humain. Mais au cours du XXIe siècle, ce sanctuaire gelé est devenu l’épicentre du dérèglement climatique. La disparition progressive de la banquise, amorcée dès les années 1990, s’accélère désormais à un rythme sans précédent. Selon la plupart des projections climatiques, l’Arctique pourrait connaître ses premiers étés totalement libres de glace avant 2040 — voire dès les années 2030 dans certains scénarios pessimistes. Ce basculement, longtemps considéré comme symbolique, marque une rupture physique, écologique et géopolitique majeure : la planète entre dans l’ère d’un Arctique sans glace.



La fonte de la banquise n’est pas un simple phénomène de réchauffement local, mais un **accélérateur systémique** du changement climatique mondial. La glace, par sa blancheur, renvoyait une grande partie du rayonnement solaire vers l’espace — un effet albédo essentiel à la stabilité thermique de la Terre. En disparaissant, elle laisse place à l’eau sombre de l’océan Arctique, qui absorbe davantage de chaleur. Ce cercle vicieux amplifie le réchauffement régional, déjà quatre fois plus rapide que la moyenne mondiale. Le processus est auto-

entretenu : moins de glace signifie plus de chaleur, donc encore moins de glace.



Les conséquences écologiques sont vertigineuses. L'Arctique abrite des écosystèmes d'une rare complexité, adaptés aux conditions extrêmes du froid et de la lumière variable. Leur équilibre repose sur la présence saisonnière de la glace, qui conditionne la productivité du plancton, le cycle des nutriments et la chaîne alimentaire marine. Lorsque la glace disparaît, c'est toute la base biologique qui vacille. Les populations de phoques, de morses et d'ours polaires s'effondrent ; les oiseaux migrateurs perdent leurs zones de reproduction ; les poissons arctiques, comme la morue du Groenland, voient leurs habitats se déplacer vers le nord, tandis que de nouvelles espèces venues de l'Atlantique s'installent. Le grand Nord se

tropicalise lentement, mais sans que la vie locale puisse suivre ce rythme de mutation.

Au-delà de la banquise, le **pergélisol** — ce sol gelé en permanence depuis des millénaires — entre lui aussi dans une phase de déstabilisation. Sa fonte libère d'immenses quantités de méthane et de dioxyde de carbone, jusqu'alors piégées dans la glace. Ces émissions, difficilement contrôlables, risquent d'alimenter une boucle de rétroaction climatique particulièrement redoutée : plus le pergélisol fond, plus le climat se réchauffe, accélérant encore la fonte. De vastes zones de toundra deviennent marécageuses, instables, et perdent leur rôle de puits de carbone pour devenir des sources massives de gaz à effet de serre.

Mais l'Arctique sans glace n'est pas seulement une catastrophe écologique — c'est aussi un **nouvel espace économique et stratégique**. Les routes maritimes du Nord, jadis impraticables, s'ouvrent progressivement : la route du Nord-Est longeant la Sibérie et celle du Nord-Ouest passant par le Canada réduisent les trajets entre l'Europe et l'Asie de plusieurs milliers de kilomètres. Cette accessibilité alimente la convoitise des grandes puissances : Russie, Chine, États-Unis, Canada et Union européenne investissent massivement dans l'exploration, les infrastructures portuaires et les technologies de navigation polaire. L'Arctique devient un théâtre de rivalités énergétiques et géopolitiques inédites.

Sous la glace fondue se cachent d'immenses ressources : hydrocarbures, minerais rares, métaux stratégiques et potentiels

gisements d’hydrates de méthane. Ces richesses, longtemps inaccessibles, attisent les ambitions extractivistes. La Russie a déjà intensifié ses forages offshore en mer de Kara et en mer de Barents ; la Chine développe sa stratégie de « Route de la soie polaire » ; et plusieurs entreprises privées explorent le potentiel minier du Groenland. Pourtant, l’exploitation de ces ressources pourrait précipiter un paradoxe tragique : **extraire du carbone fossile dans la région même où son accumulation a fait fondre la glace**.

Les populations autochtones, de la Laponie au Canada, subissent de plein fouet cette transformation. Les communautés inuites voient leurs modes de vie bouleversés : les pistes de chasse s’effondrent, les migrations animales changent de trajectoire, et les infrastructures fondent littéralement sur un sol instable. Leur adaptation se heurte à une double marginalisation — écologique et culturelle — dans un espace où les intérêts économiques globaux priment sur les savoirs locaux. L’Arctique devient un territoire de fracture : entre l’économie mondiale qui s’y engouffre et les peuples qui y disparaissent.

L’absence de glace redessine également la géopolitique militaire. Les États riverains renforcent leur présence navale et aérienne, installent des bases, modernisent leurs brise-glaces, et disputent la délimitation des zones économiques exclusives. Les tensions autour du pôle Nord, jadis symboliquement neutre, s’intensifient. Dans un monde en quête d’énergie et de routes commerciales alternatives, l’Arctique se transforme en

nouveau front stratégique — une Méditerranée glacée du XXIe siècle.

Sur le plan climatique, les répercussions de ce basculement sont globales. La disparition de la glace arctique modifie la circulation atmosphérique et océanique, notamment le **jet-stream**, ce courant d'air rapide qui influence les conditions météorologiques de l'hémisphère nord. Sa déstabilisation provoque des vagues de froid extrême, des canicules persistantes et des anomalies de précipitations à moyenne latitude. Le climat tempéré de l'Europe, de l'Amérique du Nord et de l'Asie du Nord-Est devient plus erratique, plus violent, plus difficile à prévoir. L'Arctique, jadis régulateur du climat mondial, devient au contraire un amplificateur de chaos.

À l'horizon 2050, l'Arctique sans glace incarnera la **nouvelle frontière du monde post-abondance** : un espace à la fois convoité et menacé, source de profits immédiats et de risques systémiques. Sa transformation illustre la contradiction fondamentale du modèle énergétique global : pour continuer à croître, il détruit les conditions mêmes de sa stabilité.

Ce basculement marque plus qu'une transition climatique : c'est un changement de paradigme planétaire. La disparition de la glace arctique, qui semblait autrefois inimaginable, signale que l'humanité a franchi le seuil où la géographie elle-même devient fluide. Le monde solide du passé — ses saisons, ses pôles, ses équilibres — se dissout dans un nouvel état instable, mobile, artificialisé. L'Arctique sans glace n'est pas seulement un symptôme du dérèglement : il en devient le symbole absolu.

408 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

12.1 La fonte estivale : un basculement irréversible

La disparition de la banquise estivale arctique représente l'un des tournants les plus critiques du système climatique terrestre. Pendant des millénaires, la glace de mer a joué un rôle fondamental dans la régulation thermique de la planète. En réfléchissant jusqu'à 80 % du rayonnement solaire reçu, elle contribuait à maintenir la fraîcheur des hautes latitudes et à stabiliser les grands équilibres atmosphériques. Or, depuis la fin du XX^{e} siècle, cette mécanique naturelle s'est déréglée : chaque été, la surface de glace fond plus tôt, se reconstitue plus tard, et atteint des niveaux historiquement bas. À l'horizon 2040-2050, la disparition complète de la banquise en été n'est plus un scénario théorique, mais une quasi-certitude. Ce basculement n'est pas linéaire : il est **irréversible** à l'échelle humaine.

La fonte estivale entraîne une série de rétroactions puissantes, connues sous le nom d'« effets d'amplification arctique ». Le plus visible est celui de l'albédo : en remplaçant la glace blanche par l'eau sombre de l'océan, l'Arctique absorbe six à dix fois plus d'énergie solaire. Cette chaleur supplémentaire se diffuse dans la colonne d'eau et retarde la formation de la glace suivante, prolongeant ainsi la saison libre de glace. Ce phénomène crée un cercle vicieux thermique : chaque été sans glace rend le suivant encore plus chaud.

Mais la fonte ne se limite pas à la surface. L'océan Arctique se réchauffe en profondeur, fragilisant la glace dite « pluriannuelle » — celle qui survivait d'une saison à l'autre. En 1980, cette glace ancienne représentait plus de 60 % du volume

total de la banquise ; en 2025, elle n’en constitue plus que 10 %. Cette transformation qualitative signifie que la glace arctique a perdu sa mémoire climatique : elle est devenue saisonnière, mince, éphémère, incapable de se régénérer durablement.

L’ampleur du changement dépasse les projections initiales du GIEC. Là où les modèles climatiques prévoyaient encore, il y a vingt ans, une disparition estivale vers 2070, les observations satellitaires montrent une fonte accélérée qui devance les prévisions de plusieurs décennies. Les années 2030 pourraient déjà connaître un premier été sans glace complète, même en présence d’un hiver encore gelé. Ce seuil symbolise un **point de non-retour** : une fois la glace estivale disparue, le système climatique entre dans une nouvelle phase d’équilibre — plus chaude, plus instable, et pratiquement impossible à inverser par les moyens naturels.

Les conséquences écologiques de cette fonte sont multiples. Le plancton arctique, base de la chaîne alimentaire marine, dépend de la lumière filtrée par la glace pour croître à un rythme saisonnier précis. Sa disparition provoque des décalages dans les cycles biologiques : les périodes de reproduction des poissons, oiseaux et mammifères marins ne coïncident plus avec la disponibilité de la nourriture. Les ours polaires, privés de plateaux de chasse, doivent parcourir des centaines de kilomètres à la nage pour trouver des proies ; les morses se rassemblent sur des côtes surpeuplées, où les jeunes meurent par écrasement ; les phoques voient leurs zones de

reproduction disparaître. L'ensemble du réseau trophique s'effondre par fragmentation, non par extinction immédiate, mais par perte de synchronisation écologique.

Les conséquences atmosphériques, elles, se manifestent bien au-delà du cercle polaire. La fonte estivale modifie la circulation des masses d'air et affaiblit le **jet-stream**, ce courant rapide qui sépare les masses d'air froides et chaudes. Lorsque ce courant devient instable, il forme de vastes ondulations qui bloquent les systèmes météorologiques. Résultat : des vagues de chaleur persistantes en Europe ou en Amérique du Nord, des sécheresses prolongées en Asie centrale, et des épisodes de froid extrême inattendus. L'Arctique n'est plus un isolant climatique : il devient un amplificateur de chaos météorologique.

La disparition estivale de la glace entraîne aussi une transformation géopolitique accélérée. Les routes maritimes du Nord deviennent praticables plusieurs mois par an, ouvrant la voie à un trafic commercial croissant. Les compagnies pétrolières et minières y voient une opportunité inédite, malgré les risques écologiques. Mais cette exploitation renforce le paradoxe arctique : **chaque tonne de carburant extraite ou transportée à travers un océan sans glace contribue à aggraver la fonte qui l'a rendue possible.** Ce cercle d'autodestruction énergétique illustre à la perfection la logique de la fin de l'abondance : exploiter les dernières ressources jusqu'à l'effondrement de leur support.

Sur le plan scientifique, la perte de la banquise estivale constitue un basculement irréversible pour plusieurs raisons. D'abord, la **régénération de la glace** dépend d'un refroidissement soutenu sur plusieurs décennies — un scénario incompatible avec le réchauffement actuel. Ensuite, la **structure océanique** modifiée par la fonte (salinité, stratification, courants) empêche la reformation d'une glace épaisse et stable. Enfin, la **libération du méthane** issue du pergélisol côtier et des fonds marins ajoute un forçage supplémentaire : un réchauffement auto-entretenu que les politiques climatiques ne peuvent plus compenser.

Ainsi, la fonte estivale de l'Arctique représente plus qu'un symptôme du changement climatique : c'est un **seuil de basculement planétaire**. Au-delà de ce point, la Terre entre dans un régime climatique inconnu, où les modèles actuels perdent leur validité. Ce basculement est irréversible non seulement parce qu'il échappe au contrôle humain, mais parce qu'il modifie la physique même du système climatique global.

Dans le monde de 2040-2050, un Arctique sans glace estivale deviendra la nouvelle normalité. Les cartes maritimes s'adapteront, les écosystèmes tenteront de migrer, les États redessineront leurs stratégies polaires. Mais la perte la plus profonde sera invisible : celle de la stabilité climatique dont dépendait l'équilibre du monde habité. Le silence d'un océan libre de glace, sous le soleil d'été du pôle Nord, sera le témoignage muet de l'entrée de l'humanité dans une ère où la

géographie elle-même n’est plus fixe — une planète qui a basculé.

416 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

12.2 Nouvelles routes maritimes et convoitises géopolitiques

L’ouverture progressive de l’océan Arctique à la navigation est l’un des bouleversements géopolitiques majeurs du XXIe siècle. Là où régnaient autrefois les glaces éternelles, des eaux libres s’étendent désormais plusieurs mois par an. Cette transformation redessine la carte du commerce mondial, reconfigure les équilibres militaires et ravive les ambitions territoriales. L’Arctique, longtemps périphérique, devient un **nouveau centre stratégique de la planète**, un espace de circulation et de compétition.

La fonte estivale de la banquise a révélé deux grandes artères potentielles du commerce maritime : la **route du Nord-Est**, longeant les côtes sibériennes, et la **route du Nord-Ouest**, traversant l’archipel canadien. À l’horizon 2040-2050, ces passages pourraient devenir pleinement navigables pendant quatre à six mois par an, réduisant de 30 à 40 % les distances entre les ports d’Asie et d’Europe. Le trajet Shanghai–Rotterdam, par exemple, qui prend actuellement environ 35 jours par le canal de Suez, pourrait être ramené à 20 jours via la route arctique. Cette économie de temps et de carburant attise la convoitise des grandes puissances maritimes et des entreprises de transport global.

Mais l’enjeu ne se limite pas au commerce. L’Arctique concentre d’immenses ressources naturelles : hydrocarbures, minerais, métaux rares, et potentiellement des réserves d’hydrates de méthane. Selon l’US Geological Survey, près de

13 % du pétrole mondial non découvert et **30 % du gaz naturel** pourraient se trouver sous les fonds arctiques. Cette promesse de richesses alimente une véritable **ruée polaire**, où les États riverains — Russie, États-Unis, Canada, Norvège et Danemark — se disputent la souveraineté sur les zones maritimes et les plateaux continentaux.

La Russie est aujourd'hui la puissance la plus active dans cette conquête. Elle a déclaré la « Route maritime du Nord » comme axe stratégique national et investi massivement dans la construction de brise-glaces nucléaires, de bases militaires et de ports arctiques (notamment à Mourmansk, Arkhangelsk et Sabetta). En parallèle, Moscou renforce sa présence militaire le long de sa façade septentrionale, installe des radars, des systèmes antiaériens et revendique une extension de son plateau continental jusqu'au pôle Nord. Pour la Russie, l'Arctique représente à la fois une **nouvelle frontière énergétique** et un **levier géopolitique** dans un monde en recomposition.

La Chine, quant à elle, bien qu'externe au cercle arctique, s'y engage par la diplomatie économique et scientifique. Pékin se présente comme un « État proche de l'Arctique » et développe la **Route de la soie polaire**, intégrée à son initiative mondiale des Nouvelles Routes de la soie. En investissant dans les infrastructures portuaires russes et islandaises, en finançant des projets miniers au Groenland, et en multipliant les missions de recherche, la Chine cherche à s'assurer une place dans la

gouvernance arctique et l'accès aux futures voies de navigation.

Les États-Unis, longtemps prudents, réaffirment progressivement leur présence militaire en Alaska et dans l'Arctique canadien. Le Pentagone considère désormais cette région comme un **théâtre de confrontation stratégique** potentiel, notamment face à la Russie. La marine américaine modernise sa flotte de brise-glaces, augmente ses patrouilles et soutient les efforts de l'OTAN pour garantir la « liberté de navigation » dans les eaux polaires. La Norvège, membre clé de l'alliance, joue un rôle pivot, combinant diplomatie énergétique et surveillance maritime.

Cette recomposition géopolitique se déroule dans un vide juridique partiel. Le **Traité du droit de la mer (CNUDM)**, qui encadre les revendications territoriales, n'avait pas prévu une fonte aussi rapide de la glace. Les délimitations des zones économiques exclusives se chevauchent, notamment autour du pôle Nord. La question du contrôle du **passage du Nord-Ouest** oppose le Canada, qui le considère comme ses eaux intérieures, et les États-Unis, qui y voient un détroit international. Ces litiges pourraient s'intensifier à mesure que le trafic s'accroît et que la pression économique augmente.

Au-delà de la compétition, l'Arctique devient aussi un laboratoire de nouvelles coopérations. Le **Conseil de l'Arctique**, créé en 1996, réunit les États riverains et les peuples autochtones autour de la gestion durable de la région. Mais face à la montée des tensions internationales, son rôle

s’affaiblit. La guerre en Ukraine, les sanctions économiques et la rivalité sino-occidentale ont fragmenté la gouvernance polaire. Les projets communs de recherche, d’environnement ou de sécurité maritime sont désormais suspendus ou fragmentés. L’Arctique, jadis espace de dialogue, se militarise lentement.

Cette ouverture des routes arctiques n’est pas sans coût écologique. Le trafic maritime génère du **black carbon** — des particules de suie issues de la combustion des moteurs — qui se déposent sur la glace résiduelle et accélèrent sa fonte. Les risques de marée noire dans un environnement fragile et difficile d’accès sont colossaux : une fuite de pétrole dans les eaux glaciales mettrait des décennies à se résorber. Par ailleurs, l’augmentation du bruit sous-marin perturbe les mammifères marins, et l’introduction d’espèces invasives via les eaux de ballast menace les écosystèmes locaux. L’ouverture commerciale de l’Arctique, censée symboliser la modernité, accentue donc paradoxalement sa vulnérabilité.

Pour les populations autochtones, ces routes représentent une double rupture. D’un côté, elles offrent des opportunités économiques : transport, pêche, tourisme, logistique. De l’autre, elles menacent les écosystèmes dont dépendent leurs traditions et leur sécurité alimentaire. Les migrations animales changent, les littoraux s’érodent, les infrastructures se déforment sur un pergélisol en fonte. L’arrivée de flux économiques mondiaux risque d’éroder encore davantage leur souveraineté culturelle.

Ainsi, l’ouverture de l’Arctique n’est pas une libération, mais une **mutation géopolitique et écologique**. Elle concentre dans une même région toutes les contradictions du monde post-abondance : la recherche de nouvelles richesses dans un environnement déjà menacé, la promesse de routes plus courtes au prix d’une planète plus chaude, et la coexistence de stratégies militaires dans un espace autrefois symbole de paix.

Dans un avenir proche, l’Arctique pourrait devenir ce que fut le Moyen-Orient au XX^{e} siècle : un cœur énergétique et stratégique, mais aussi une poudrière. La fin de la glace marque le début d’un nouvel âge de rivalités, où la conquête du Nord ne se fera plus à coups d’expéditions scientifiques, mais d’investissements, de bases militaires et de contrats énergétiques. L’océan qui se libère de la glace devient un **océan des convoitises**, reflet glacé d’un monde en quête de nouveaux horizons dans un climat qui, lui, n’a plus de repère stable.

12.3 Le méthane arctique : bombe climatique en formation

Sous les vastes étendues gelées du Nord se cache une menace invisible, lente et colossale : le méthane arctique. Gaz à effet de serre près de **85 fois plus puissant que le CO_2 sur un horizon de vingt ans**, il constitue le second grand verrou du système climatique terrestre — un verrou qui, aujourd'hui, commence à céder. Dans les décennies à venir, la libération progressive, puis potentiellement massive, de ce méthane pourrait amplifier de façon exponentielle le réchauffement global, entraînant la planète vers un point de bascule difficilement réversible.

Le méthane arctique provient de deux grandes sources principales : le **pergélisol terrestre** et les **hydrates de méthane sous-marins**. Le premier, ce sol gelé depuis la dernière glaciation, couvre près d'un quart de l'hémisphère nord — environ 23 millions de km² — et renferme près de **1 500 milliards de tonnes de carbone organique**. Tant que le sol reste gelé, ce carbone est piégé. Mais à mesure que les températures augmentent, le pergélisol dégèle, libérant non seulement du CO_2 issu de la décomposition lente de la matière organique, mais surtout du méthane, produit dans les zones humides et anaérobies.

Le second réservoir, encore plus inquiétant, se trouve sous les mers arctiques peu profondes, notamment dans la mer de Sibérie orientale. Là, d'immenses quantités d'**hydrates de méthane** — des molécules de gaz piégées dans des cages de glace — reposent dans les sédiments marins. Ces hydrates sont

stables à basse température et sous haute pression. Mais lorsque l'océan se réchauffe, même légèrement, cette stabilité se rompt : les cages fondent et relâchent le gaz dans l'eau, puis dans l'atmosphère. Ce processus est déjà observé à petite échelle, sous forme de **panaches de bulles de méthane** s'échappant du fond marin, parfois sur des kilomètres de large.

Ces émissions sont encore limitées, mais leur **dynamique** est ce qui inquiète les chercheurs. Le réchauffement de l'Arctique est environ **quatre fois plus rapide** que la moyenne mondiale, et les mers peu profondes réagissent rapidement aux variations de température. Une augmentation de seulement deux à trois degrés des eaux de fond suffit à déstabiliser les hydrates superficiels. Dans les scénarios d'un Arctique libre de glace estivale vers 2040-2050, cette chaleur supplémentaire atteindra des couches de sédiments jusque-là protégées, déclenchant un relargage progressif, puis cumulatif, du méthane.

Certains scientifiques, comme Natalia Shakhova et Igor Semiletov, ont alerté dès les années 2010 sur la possibilité d'un **« pulse méthanique »**, c'est-à-dire une émission brutale de plusieurs dizaines de gigatonnes de CH_4 en quelques années. Une telle libération provoquerait une accélération fulgurante du réchauffement global — de l'ordre de **0,5 à 1 °C supplémentaire** à l'échelle planétaire — en très peu de temps. D'autres chercheurs tempèrent ce scénario, estimant que la plupart du méthane se dissoudrait ou s'oxyderait avant d'atteindre l'atmosphère. Néanmoins, même un relargage modéré, s'étalant sur plusieurs décennies, suffirait à

verrouiller la trajectoire climatique vers un réchauffement supérieur à 3 °C avant 2100.

Le dégazage du méthane crée par ailleurs une série de **boucles de rétroaction positives**. En s'échappant dans l'atmosphère, il réchauffe davantage l'air arctique, ce qui accélère la fonte du pergélisol et la déstabilisation des hydrates. Cette chaleur supplémentaire amplifie aussi la disparition de la banquise, qui elle-même augmente l'absorption solaire et le réchauffement océanique. Le système s'emballe : plus de chaleur libère plus de méthane, qui libère plus de chaleur — une spirale auto-entretenue, que certains climatologues qualifient de **« bombe climatique lente »**.

Les conséquences de ce relargage dépassent la seule sphère climatique. D'un point de vue chimique, l'augmentation du méthane atmosphérique perturbe la concentration d'**ozone troposphérique**, un gaz secondaire qui contribue à la pollution de l'air et affecte la santé humaine. Sur le plan écologique, l'acidification des eaux arctiques résultant de l'oxydation du méthane dissous pourrait bouleverser les écosystèmes marins de fond, réduisant encore la productivité biologique. Enfin, sur le plan politique, l'émergence d'un risque incontrôlable rendrait caduques les scénarios de neutralité carbone : **aucune politique d'atténuation classique ne peut absorber un relargage massif et rapide de méthane naturel**.

Dans les années 2040, les premiers signes visibles de cette dynamique seront probablement mesurés par les concentrations atmosphériques croissantes enregistrées au-dessus des pôles.

Des stations comme celles de Barrow (Alaska) ou Tiksi (Russie) détectent déjà une hausse anormale de CH_4 depuis le début du siècle. À mesure que les régions du pergélisol s'effondrent — littéralement, parfois, sous forme de cratères explosifs provoqués par la pression du gaz —, les paysages du Grand Nord deviennent les témoins spectaculaires d'un processus souterrain. Ces cratères, apparus pour la première fois dans la péninsule de Yamal au début des années 2010, se multiplient dans les zones en dégel rapide, marquant le début d'une **instabilité géologique inédite**.

Le relargage du méthane arctique ne se produit donc pas comme un événement unique, mais comme une **succession de déclenchements locaux**, chacun contribuant à un effet global cumulatif. Cette dynamique lente, invisible à l'échelle d'une décennie, finit par provoquer une rupture systémique à l'échelle du siècle. Elle symbolise la nature non linéaire du changement climatique : une succession de seuils franchis sans retour possible.

L'humanité, en déclenchant le réchauffement planétaire, a amorcé un mécanisme qui agit désormais sans contrôle. L'Arctique, jadis thermostat de la planète, devient un moteur de réchauffement. Les gaz enfouis depuis des dizaines de milliers d'années s'échappent à nouveau dans l'atmosphère, ramenant la Terre à un état pré-glaciaire. La « bombe méthanique » n'explose pas comme une détonation, mais comme une **respiration planétaire inversée** : lente, continue, irréversible.

À la fin de ce processus, la planète n’aura pas seulement perdu sa glace : elle aura perdu son inertie. Le méthane arctique, libéré par le réchauffement qu’il amplifie, transformera le climat terrestre en un système hyperactif, oscillant entre extrêmes. Dans ce monde post-abondance, l’homme découvre que la nature, même silencieuse, finit toujours par présenter sa facture — et qu’elle se compte, cette fois, en degrés.

Partie V – Sociétés, économie, surveillance et avenir humain

13. L’économie mondiale en contraction

Alors que le monde entre dans la deuxième moitié du XXIe siècle, l’économie globale ne suit plus la trajectoire d’expansion illimitée qui avait caractérisé les décennies d’après-guerre. La combinaison de la raréfaction des ressources énergétiques bon marché, de la transition vers des systèmes décarbonés, de la montée des coûts liés aux effets du changement climatique, et de la transformation géopolitique bouleverse les fondamentaux de la croissance économique. Dans ce contexte, l’économie mondiale bascule progressivement d’un régime d’abondance – fondé sur l’augmentation continue du produit intérieur brut (PIB), de la consommation et des investissements – vers un régime de contraction : croissance ralentie, revenus sous tension, modèles d’État et de marché fragilisés.

Des revenus étatiques en chute dans les économies dépendantes des hydrocarbures

Un marqueur majeur de ce basculement est l’effondrement annoncé des recettes fiscales tirées des industries du pétrole et du gaz : selon Rystad Energy, « la transition énergétique accélérée marque la fin des recettes fiscales pétrolières et gazières à mille milliards de dollars ». ogj.com Offshore Energy Avant la pandémie de Covid-19, les taxes et redevances sur le pétrole et le gaz excédaient couramment 1 000 milliards US$ par an. Rystad prévoit que 2021 sera la dernière année où l’on approchera ce niveau (estimé à environ

975 milliards US$). À partir de 2022, les recettes devraient se stabiliser dans la fourchette basse de 800 milliards avant de décliner progressivement : environ 580 milliards US$ en 2040, et seulement 350 milliards US$ en 2050. ogj.com
Cette chute crée une double pression : d'un côté, les États fortement dépendants de ces revenus (comme certains pays du Moyen-Orient ou d'Afrique du Nord) voient leur budget public fragilisé, leur capacité d'investissement diminuée, et leur modèle de « pays pétrolier » remis en cause. oilandgasmiddleeast.com De l'autre, l'ensemble du système économique global est contraint : moins de rente pétrolière, moins de surcroît de consommation-investissement, donc une croissance moindre.

Une croissance mondiale qui ralentit de façon structurelle

Au-delà des seuls États exportateurs d'hydrocarbures, la contraction de l'économie mondiale s'inscrit dans des dynamiques plus larges : l'ample montée des investissements nécessaires à la transition bas-carbone, la montée des coûts d'extraction des ressources, l'épuisement des marges de manœuvre énergétique bon marché, la saturation de certains modèles de surconsommation. Un rapport de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) estime que dans ses scénarios de longue durée « la transition énergétique est modélisée comme un choc d'offre négatif : la croissance mondiale ralentit de 0,2 point par an au début, jusqu'à 0,6 point par an vers la fin de la période de transition ». OECD

Autrement dit : même si la croissance ne devient pas négative dans toutes les régions, la *dynamique* de croissance change : elle passe d'un régime d'« expansion facile » à un régime de croissance contrainte, avec des taux de progression plus faibles, plus irréguliers, plus dépendants de la transformation structurelle que de l'essor naturel.
Ce ralentissement structurel se traduit aussi par des effets cumulatifs : moins d'investissement, moins d'emplois créés, moins d'augmentation des revenus par tête. À l'échelle des économies avancées comme des pays émergents, la pression sera forte.

La fin de l'abondance : consommation, crédit et investissement en berne

Dans une économie de contraction, plusieurs mécanismes convergent :

- La consommation ne peut plus croître indéfiniment : les ménages sont confrontés à un climat d'incertitude accrue (inflation due aux ressources, hausse des coûts d'énergie, fiscalité verte) ; les gains de productivité ralentissent.
- L'investissement perd de son inertie : les retours sur investissement dans certains secteurs (énergies fossiles, extraction de ressources « faciles ») diminuent, les coûts unitaires augmentent, et les risques géopolitiques ou écologiques (stranded assets, etc.) pèsent davantage.

- Le crédit, pilier de la croissance moderne, est fragilisé : dans un contexte de dette élevée, de coût du capital accru et de perspectives de croissance réduites, l'effet levier du crédit s'atténue.
- Enfin, l'abondance énergétique, matérielle et logistique des trente glorieuses perd de sa réalité : l'ère des « ressources bon marché, énergie facile et démographie dopée » s'achève.

Pour illustrer ce changement de paradigme : le fait que les revenus pétroliers mondiaux ne dépasseront vraisemblablement plus jamais le seuil des mille milliards de dollars témoigne d'une rupture fondamentale — un des piliers de l'ancien modèle de croissance s'effondre. (Voir §13.1)
À l'échelle globale, cela se traduit par une économie où **moins d'abondance d'énergie**, **moins de surcapacités** et **moins de rentabilité immédiate** deviennent la norme. Le risque est donc celui d'un « piège de stagnation » ou d'un régime de « croissance faible permanente ».

Impacts géopolitiques, sociaux et de surveillance humaine

Une économie en contraction modifie de façon profonde les équilibres sociaux, politiques et technologiques :

- Les États voient leurs marges de manœuvre réduites pour financer les services publics, les infrastructures ou les innovations. Dans les pays exportateurs de ressources, cela génère un stress budgétaire, une

pression pour diversifier ou modifier le modèle d'État, et potentiellement des instabilités sociopolitiques.

- Le chômage structurel, la stagnation des salaires et l'augmentation des inégalités peuvent devenir chroniques dans une telle configuration, augmentant les tensions sociales.
- Face à des ressources plus contraintes et à des budgets publics sous pression, la surveillance se banalise : les technologies de contrôle, de collecte de données et de « gestion populationnelle » trouvent un terreau fertile dans des sociétés où l'ajustement économique est imposé plutôt que choisi. L'économie en contraction nourrit donc un terreau favorable aux logiques de gouvernance accrue, de surveillance accrue, de « régulation de l'abondance limitée ».
- Enfin, sur la scène globale, la rivalité pour les ressources restantes (énergie, eau, matières premières stratégiques) se durcit. Les pays qui peuvent se le permettre investissent dans des systèmes d'influence, des chaînes d'approvisionnement sécurisées, des blocs de gouvernance alternatifs. L'économie en contraction devient aussi un enjeu de puissance.

Perspectives pour 2040-2050 : de la contraction à la relocalisation

En imaginant la période 2040-2050, on peut envisager un scénario dans lequel la contraction se stabilise mais ne retourne

pas à l'abondance. Trois grandes caractéristiques pourraient dominer :

1. **Relocalisation partielle de l'économie** : avec l'augmentation des coûts logistiques, énergétiques et environnementaux, les chaînes de valeur mondiales s'accompagnent d'un mouvement vers davantage de production locale, de circuits courts, de moindre dépendance aux flux internationaux à longue distance.
2. **Croissance « plate » ou « modérée »** : les taux de croissance global deviennent faibles (par exemple 1 à 2 % brut par an dans de nombreux pays), voire nuls, en particulier dans les économies avancées. Les émergents peuvent encore croître, mais avec des rendements décroissants et sous contraintes énergétiques/écologiques.
3. **Qualité plutôt que quantité : réduction des excès et transition vers un nouveau modèle** : l'économie s'oriente non plus vers la surconsommation mais vers l'efficacité, la durabilité, la circularité. Dans ce cadre, la contraction – ou l'absence de forte croissance – n'est pas uniquement un échec mais un moment de bascule vers un modèle différent. Toutefois, cette transition reste incertaine, inégale et souvent douloureuse.

Conclusion

La section « L'économie mondiale en contraction » ne se contente pas de décrire un simple ralentissement : elle met en

lumière une mutation systémique. Le modèle de croissance linéaire et abondante qui a prévalu jusqu'à présent montre ses limites face aux contraintes énergétiques, matérielles, environnementales et sociales. Les diagnostics de Rystad Energy sur la chute des recettes pétrolières et gazières, et les scénarios de l'OCDE sur un ralentissement structurel de la croissance, invitent à repenser l'architecture économique mondiale.

Dans ce contexte, pour la période 2040-2050, il ne s'agira pas seulement de gérer la contraction : il faudra maîtriser la transition vers un nouveau paradigme économique — plus sobre, plus durable, moins dépendant de la quantité — tout en évitant que la contraction ne se traduise par un effondrement social ou politique. Le défi est considérable : réussir à transformer la fin de l'abondance en opportunité plutôt qu'en crise.

13.1 La fin de la croissance matérielle

La croissance matérielle, fondée sur l'augmentation continue de la production et de la consommation de biens tangibles — énergie, métaux, produits manufacturés, ressources naturelles — constitue depuis le XIX^{e} siècle le socle de la prospérité économique mondiale. Elle a permis l'élévation des niveaux de vie, la démocratisation de l'accès aux biens et services, et la création de chaînes de valeur globales complexes. Cependant, dans le scénario 2040-2050 que dessinent les analyses de Rystad Energy et d'autres instituts spécialisés, ce modèle touche à ses limites physiques et économiques.

Limites physiques et énergétiques

La croissance matérielle repose sur l'exploitation croissante de ressources finies. Les matières premières stratégiques — fer, cuivre, lithium, nickel, cobalt — sont soumises à des contraintes géologiques et logistiques. L'extraction devient progressivement plus coûteuse, moins efficace et plus polluante. La transition énergétique, qui impose le passage aux énergies renouvelables et aux véhicules électriques, crée une demande sans précédent pour ces métaux, accentuant la rareté relative et les tensions sur les chaînes d'approvisionnement. Selon Rystad Energy, « la consommation énergétique mondiale atteint un plateau structurel d'ici 2035-2040, marquant la fin d'une ère de croissance facile et bon marché ». (Rystad Energy, 2021) Dans ce contexte, la production matérielle devient plus

coûteuse et moins accessible, limitant la croissance physique de l'économie.

Saturation des infrastructures et contraintes logistiques

Même si les ressources étaient théoriquement disponibles, le transport, le stockage et la transformation de ces matières rencontrent des limites. Les infrastructures globales, conçues pour un régime de croissance exponentielle, atteignent leur capacité maximale dans de nombreux secteurs : ports, réseaux ferroviaires, centrales électriques, usines. Les coûts liés à la maintenance, à la modernisation et à l'adaptation écologique augmentent, réduisant l'efficacité marginale de l'investissement matériel.
Cette saturation logistique signifie qu'ajouter des volumes supplémentaires de production ne se traduit pas automatiquement par une augmentation de la richesse réelle ou du bien-être. La croissance matérielle se heurte à la loi des rendements décroissants, qui devient un facteur déterminant dans l'économie en contraction.

Épuisement des gains de productivité liés à la consommation

Depuis les Trente Glorieuses, l'augmentation de la production matérielle s'accompagnait de gains de productivité spectaculaires. Cependant, les marges d'amélioration technologique liées à l'industrialisation de masse et à l'automatisation ont commencé à se réduire dans les années 2020-2030. Dans de nombreux secteurs, les innovations

n’apportent plus de gains proportionnels en production matérielle ; elles servent davantage à réduire les coûts ou l’impact environnemental.
Ainsi, même si les technologies permettent de produire plus proprement, elles ne suffisent plus à relancer la croissance matérielle sur les anciens rythmes. Le plateau atteint traduit la fin d’une ère de croissance illimitée fondée sur l’accumulation matérielle.

Conséquences économiques et sociales

La fin de la croissance matérielle a des implications majeures :

- **Économiques** : les entreprises ne peuvent plus compter sur l’expansion continue de la demande matérielle pour soutenir leurs profits et justifier leurs investissements. Les modèles économiques basés sur la surconsommation ou le renouvellement rapide des produits doivent être repensés.
- **Sociales** : la stagnation ou la contraction de la production de biens tangibles peut exacerber les inégalités, car les ressources limitées deviennent plus chères et plus difficiles d’accès pour une partie de la population.
- **Politiques** : les États doivent gérer des tensions accrues entre besoins de croissance et limitations physiques. L’allocation des ressources devient un enjeu stratégique majeur, favorisant la relocalisation, la planification et, parfois, la régulation stricte de la consommation.

Vers un modèle d’économie qualitative

Face à ces contraintes, la fin de la croissance matérielle ne signifie pas nécessairement un effondrement immédiat de l’économie. Elle impose plutôt un **changement de paradigme** : passer d’une économie quantitative à une économie qualitative, où la valeur ne réside plus uniquement dans l’accumulation de biens matériels, mais dans la durabilité, l’efficacité, le capital immatériel, la connaissance et les services. La transition vers ce modèle est déjà perceptible dans l’essor de l’économie circulaire, des services numériques, de l’économie de la connaissance et de l’investissement dans le capital humain.

En somme, la fin de la croissance matérielle redessine les contours de l’économie mondiale : elle déplace le centre de gravité de l’expansion économique de la quantité vers la qualité, tout en confrontant les sociétés aux limites tangibles de la planète.

444 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

13.2 L’effondrement des chaînes de valeur globales

La fin de la croissance matérielle s’accompagne inévitablement de perturbations majeures dans les chaînes de valeur mondiales. Depuis la fin du XX^{e} siècle, l’économie globale a reposé sur des chaînes d’approvisionnement extrêmement intégrées et spécialisées, permettant de produire des biens à moindre coût grâce à la délocalisation et à la division internationale du travail. Cependant, à mesure que la croissance matérielle ralentit, que les coûts énergétiques et logistiques augmentent, et que la rareté des matières premières se fait plus pressante, ces chaînes deviennent fragiles et vulnérables.

Fragilité structurelle et dépendances critiques

Les chaînes de valeur modernes sont extrêmement interdépendantes. La production d’un bien manufacturé peut mobiliser des centaines de composants provenant de dizaines de pays différents. Cette complexité accroît la vulnérabilité : un choc dans une partie du réseau — qu’il soit géopolitique, climatique, énergétique ou sanitaire — peut provoquer un effet domino à l’échelle mondiale.
Les tensions sur les métaux critiques comme le lithium, le cobalt, le nickel ou le cuivre, nécessaires à la transition énergétique, illustrent parfaitement ce risque. Selon Rystad Energy et Wood Mackenzie, la demande de ces métaux pourrait excéder de manière structurelle l’offre disponible dès 2035, provoquant des retards industriels et des hausses de prix considérables. (Wood Mackenzie, 2022)

La hausse des coûts logistiques et énergétiques

La contraction économique et la transition énergétique entraînent une augmentation progressive des coûts logistiques. Le transport maritime, aérien et terrestre devient plus cher en raison des contraintes énergétiques et de la réglementation carbone. Les flux internationaux, qui jusqu'alors favorisaient la production à bas coût dans des régions lointaines, perdent leur rentabilité. La combinaison de coûts plus élevés et de délais plus longs met à mal la compétitivité des entreprises et réduit la résilience des chaînes d'approvisionnement.
Le Covid-19 avait déjà montré la vulnérabilité des chaînes globales : les pénuries de composants électroniques et de matériel médical ont provoqué des retards massifs. Dans le contexte 2040-2050, ces fragilités sont exacerbées par la contraction structurelle de l'économie matérielle et la limitation des ressources disponibles.

Relocalisation et fragmentation économique

Face à ces risques, les entreprises et les États cherchent à relocaliser une partie de leur production pour sécuriser les approvisionnements stratégiques. Ce mouvement de relocalisation partielle, déjà amorcé dans les années 2020-2030, se généralise : les circuits courts, la production locale et les clusters industriels régionaux deviennent des solutions privilégiées.
Cependant, cette fragmentation a un coût : la division internationale du travail perd de son efficacité, les économies d'échelle diminuent, et la production devient plus coûteuse et

moins flexible. Le système économique global, qui reposait sur l'interconnexion et la spécialisation, doit ainsi s'adapter à une logique de résilience plutôt que de maximisation du profit.

Impacts géopolitiques et stratégiques

L'effondrement ou la fragilisation des chaînes de valeur globales transforme profondément les rapports de force internationaux. Les pays capables de sécuriser leurs approvisionnements en matières premières, en énergie et en biens industriels critiques disposent d'un avantage stratégique considérable. Les tensions géopolitiques augmentent, avec un risque de régionalisation et de rivalités autour des ressources essentielles.
Les entreprises multinationales, quant à elles, sont contraintes de revoir leur modèle : investir dans la sécurité des flux devient aussi important que la recherche de profit. Le concept de « supply chain stratégique » remplace progressivement celui de « supply chain optimisée à bas coût ». La stabilité économique mondiale devient directement dépendante de la résilience des chaînes d'approvisionnement.

Conséquences pour l'économie mondiale

L'effondrement progressif des chaînes de valeur globales accentue les effets de la contraction économique :

- **Ralentissement industriel** : les retards et pénuries réduisent la production et freinent l'innovation.

- **Inflation sectorielle** : les coûts supplémentaires sont répercutés sur les prix finaux, limitant le pouvoir d'achat et aggravant la stagnation.
- **Renforcement des économies locales** : la résilience passe par la relocalisation, favorisant les circuits courts mais réduisant la compétitivité globale.
- **Fragilisation des systèmes financiers** : la dépendance à des chaînes complexes rend l'investissement plus risqué et la volatilité plus élevée.

Vers une économie résiliente plutôt qu'abondante

En conclusion, l'effondrement des chaînes de valeur globales constitue une conséquence directe de la fin de la croissance matérielle. Dans ce nouveau contexte, la priorité économique n'est plus la maximisation de la production et de la consommation, mais la résilience et la durabilité. Les entreprises et les États doivent s'adapter à un environnement où la pénurie et la contrainte dictent la stratégie, et où la compétitivité mondiale repose autant sur la robustesse des systèmes que sur la rapidité et le coût.

450 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 451

13.3 Effondrement ou la raréfaction des ressources?

La fin de la croissance matérielle et l'effondrement des chaînes de valeur globales trouvent leur origine dans un phénomène plus fondamental : la **raréfaction des ressources naturelles**. Si le XX^{e} siècle a été marqué par une exploitation croissante et quasi illimitée des ressources, le XXI^{e} siècle révèle progressivement les limites physiques de cette expansion. À l'horizon 2040-2050, les analyses de Rystad Energy et d'autres instituts spécialisés montrent que la combinaison de contraintes géologiques, énergétiques et environnementales entraîne une contraction tangible de l'accès aux matières premières essentielles.

Une raréfaction structurelle

Les ressources critiques pour l'économie moderne – pétrole, gaz, charbon, métaux stratégiques comme le lithium, le cobalt, le nickel, le cuivre – ne sont pas seulement limitées, elles deviennent **progressivement plus difficiles et coûteuses à extraire**. Les gisements les plus accessibles sont déjà largement exploités ; la production future repose sur des sources plus profondes, plus dispersées, ou technologiquement plus complexes à exploiter.
Selon Rystad Energy, la transition énergétique va accentuer cette pression : « Les besoins en métaux pour batteries et infrastructures renouvelables créent une demande structurellement supérieure à l'offre dès 2035-2040 ». (Rystad

Energy, 2021) Cette rareté n'est pas ponctuelle mais permanente, ce qui modifie profondément la dynamique de l'économie mondiale.

Dépendance énergétique et vulnérabilité

L'énergie reste le vecteur principal de l'économie globale. La fin des hydrocarbures abondants et bon marché marque une rupture : les pays et industries qui dépendent d'une énergie fossile à faible coût doivent désormais composer avec des prix élevés et une volatilité structurelle. Les prévisions de Rystad Energy indiquent que les recettes fiscales mondiales provenant du pétrole et du gaz, qui excédaient 1 000 milliards de dollars par an au début du XXIe siècle, devraient tomber à moins de 350 milliards de dollars en 2050. (OGJ, 2021)
Cette contraction énergétique se traduit par un ralentissement industriel, des coûts de production accrus et un risque de pénuries ponctuelles, accentuant la fragilité des économies globalisées.

Matières premières stratégiques et enjeux géopolitiques

La raréfaction ne touche pas uniquement l'énergie : les **métaux critiques** deviennent des enjeux géopolitiques majeurs. La Chine, l'Australie et quelques autres pays concentrent une part significative de la production de lithium, cobalt et terres rares, indispensables pour les batteries, les énergies renouvelables et l'électronique. La pénurie relative entraîne une montée des tensions internationales, une compétition pour l'accès aux ressources et un mouvement de sécurisation des chaînes

d’approvisionnement.
Dans ce contexte, les États adoptent des stratégies de relocalisation, de stockage stratégique et d’investissement dans l’extraction ou le recyclage local, accentuant la **fragmentation économique mondiale** et renforçant la logique de résilience sur celle de la croissance.

L’économie circulaire : solution partielle mais nécessaire

Face à cette raréfaction, l’économie circulaire apparaît comme **un levier indispensable** : recyclage des métaux, réutilisation des composants électroniques, prolongation de la durée de vie des biens de consommation et limitation du gaspillage.
Cependant, les analyses montrent que même une économie circulaire optimisée ne peut compenser totalement la diminution des ressources primaires : elle permet de ralentir le rythme de raréfaction, mais pas de maintenir la croissance matérielle à son niveau historique.
Ainsi, la raréfaction des ressources impose une **réorientation structurelle de l’économie**, où la valeur n’est plus uniquement dans l’extraction et la production, mais dans l’efficacité, la circularité et la maîtrise des flux.

Conséquences économiques et sociales

La raréfaction des ressources entraîne des impacts directs et indirects :

- **Hausse des prix** : les ressources deviennent plus rares et donc plus chères, accentuant l’inflation sur les biens industriels et énergétiques.

- **Inégalités accrues** : l’accès aux ressources est plus difficile pour les populations à faibles revenus, accentuant les tensions sociales.
- **Fragilité des industries dépendantes** : l’électronique, l’automobile, la chimie ou la construction sont particulièrement exposées.
- **Nouveaux paradigmes géopolitiques** : les pays capables de sécuriser leurs ressources deviennent des acteurs stratégiques majeurs, tandis que d’autres subissent des pressions économiques et politiques croissantes.

Conclusion

La question n’est plus de savoir si les ressources vont manquer, mais **comment les sociétés vont s’adapter**. L’économie mondiale doit gérer la transition vers un modèle où la production matérielle ne peut plus croître indéfiniment. L’effondrement ou la raréfaction des ressources impose de repenser la planification économique, la gouvernance énergétique et les stratégies industrielles. La fin de l’abondance devient ainsi un levier de transformation structurelle, offrant à la fois des défis et des opportunités pour un monde contraint par ses limites physiques et écologiques.

456 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

14. Les sociétés sous surveillance

À mesure que l’économie mondiale entre dans une phase de contraction, et que les ressources deviennent limitées, la surveillance devient un outil stratégique et incontournable pour les États, les entreprises et les institutions. Loin de se limiter à la collecte de données numériques, la surveillance s’étend à la régulation des comportements, à la gestion de la mobilité et à la sécurisation des flux économiques et sociaux. La fin de l’abondance transforme profondément le rapport entre les individus et les systèmes de contrôle.

La surveillance comme réponse à la rareté

L’un des effets majeurs de la contraction économique et de la raréfaction des ressources est l’augmentation de la compétition pour accéder à l’énergie, aux biens essentiels et aux services publics. Les États et les grandes entreprises recourent à des technologies de surveillance pour :

- **Optimiser l’usage des ressources** : suivi de la consommation d’électricité, de carburant, d’eau et de matières premières stratégiques.
- **Assurer la sécurité énergétique et alimentaire** : contrôle des stocks, traçabilité des produits et régulation de la distribution.
- **Prévenir les conflits sociaux et économiques** : détection précoce de mouvements de contestation ou de pénurie.

Dans ce contexte, la surveillance ne se limite pas à un outil répressif : elle devient un instrument de gestion, permettant de maintenir la stabilité sociale et de prolonger la résilience des systèmes économiques sous tension.

Technologies et infrastructures de contrôle

La surveillance moderne s'appuie sur un écosystème technologique complexe :

- **Big data et intelligence artificielle** : analyse prédictive des comportements de consommation, des mouvements de population et des flux financiers.
- **Internet des objets et capteurs intelligents** : mesure en temps réel de la consommation énergétique, de la circulation des biens et de la disponibilité des ressources.
- **Reconnaissance faciale et biométrie** : identification des individus et régulation des accès aux espaces publics et privés.
- **Blockchain et traçabilité** : suivi sécurisé des produits, des transactions et des chaînes d'approvisionnement.

Ces outils permettent une surveillance plus fine et automatisée, mais ils soulèvent aussi des questions éthiques et politiques majeures sur la vie privée et la liberté individuelle.

Surveillance et contrôle social

La surveillance dépasse le cadre économique pour toucher la dimension sociale :

- Les comportements individuels deviennent observables et quantifiables, et leur analyse influence les décisions politiques et commerciales.
- L'accès aux services, à l'emploi ou aux ressources peut être conditionné par la conformité à des normes définies par des algorithmes ou des régulations.
- La pression normative peut générer un climat de conformisme, où l'adhésion aux règles et la discipline sociale deviennent essentielles pour survivre dans un environnement économique contraint.

Ainsi, la surveillance devient un **mécanisme de gouvernance** autant qu'un instrument de contrôle, en particulier dans les sociétés où les ressources sont rares et où les tensions sociales sont fortes.

Les sociétés numériques et la surveillance globale

Le XXI^{e} siècle a vu l'émergence de sociétés numériques où la quasi-totalité des activités humaines laisse une trace : achats en ligne, déplacements, communications, consommation énergétique et même comportements de santé. Ces données massives permettent une **surveillance globale**, capable de prédire des crises économiques, des pénuries ou des mouvements sociaux avant qu'ils ne se manifestent.

460 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l'abondance

Dans un monde en contraction économique, ces systèmes deviennent stratégiques : ils permettent aux gouvernements et aux entreprises de planifier et de répartir les ressources limitées avec une précision sans précédent, mais au prix d'une réduction de l'autonomie individuelle.

Risques et dérives potentielles

Si la surveillance peut offrir une meilleure gestion des ressources et réduire les risques sociaux, elle comporte également des risques significatifs :

- **Concentration du pouvoir** : les institutions qui contrôlent les données disposent d'un pouvoir immense sur les individus et les entreprises.
- **Manipulation et contrôle comportemental** : la surveillance prédictive peut influencer les choix, limiter la liberté de décision et accentuer les inégalités.
- **Érosion des libertés civiles** : dans un contexte de pénurie et de stress économique, les mesures de surveillance peuvent devenir permanentes et s'étendre à tous les aspects de la vie sociale.

Ainsi, les sociétés sous surveillance se caractérisent par un **équilibre précaire** entre sécurité, résilience et liberté individuelle. La tension entre efficacité et contrôle définit le cadre politique, économique et social de l'avenir proche.

Conclusion

L’économie mondiale en contraction et la raréfaction des ressources redéfinissent le rôle de la surveillance. Loin de se limiter à la collecte de données, elle devient un instrument stratégique pour maintenir la stabilité sociale et économique. Cependant, cette expansion du contrôle comporte des risques pour les libertés et les droits des individus. Dans le monde 2040-2050, la **surveillance ne sera pas seulement technologique**, elle sera un élément central de la gouvernance des sociétés contraintes par la fin de l’abondance.

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 463

14.1 Le monde en ligne : traçage et espionnage numérique

À l'ère de la fin de l'abondance, le monde numérique devient un terrain central pour la surveillance, le contrôle et la régulation des comportements. Les sociétés connectées dépendent désormais de flux de données massifs, que ce soit pour la consommation, le travail, la santé, les déplacements ou la production industrielle. Ces flux laissent des traces permanentes, permettant un traçage quasi exhaustif des individus et des organisations.

Collecte massive de données

Les plateformes numériques, les applications, les objets connectés et les services en ligne génèrent des volumes de données gigantesques. Chaque interaction laisse une empreinte numérique : achats, navigation sur Internet, utilisation de services de transport, consommation énergétique domestique, activité sociale. Cette collecte massive permet aux gouvernements et aux entreprises de créer des **profils détaillés** des comportements individuels et collectifs, allant bien au-delà des simples données démographiques.

Les données sont utilisées pour :

- **Optimiser les services publics et privés** : ajustement de la distribution d'énergie, de transports ou de services de santé.

- **Analyser la consommation et la demande** : prévision de pénuries et adaptation de la production.
- **Surveiller les comportements sociaux et économiques** : détection de comportements jugés « à risque », anticiper les crises ou tensions.

Espionnage numérique et géopolitique

Le traçage en ligne dépasse le cadre national : il s'agit également d'un outil stratégique de **guerre économique et géopolitique**. Les États investissent massivement dans la cybersurveillance, l'espionnage industriel et la collecte de données à l'échelle mondiale pour :

- protéger leurs intérêts économiques,
- sécuriser leurs infrastructures critiques,
- anticiper les mouvements des adversaires et concurrents,
- contrôler l'accès aux informations stratégiques.

Le contrôle du cyberespace devient ainsi un levier de puissance équivalent à l'énergie ou aux matières premières. La domination numérique peut influencer directement la compétitivité industrielle et la stabilité politique d'un pays.

Algorithmes prédictifs et intelligence artificielle

L'exploitation des données massives repose sur des **algorithmes prédictifs** et l'intelligence artificielle (IA). Ces

outils permettent d’identifier les comportements probables des individus, de prévoir la consommation énergétique, de détecter les anomalies financières ou de repérer des tendances sociales émergentes.
Dans un monde où les ressources sont limitées, l’IA devient un instrument de **planification et de régulation** : les comportements humains et économiques peuvent être modulés par des recommandations, des incitations financières ou des restrictions automatisées.

Risques pour la vie privée et les libertés

La surveillance numérique permanente pose de sérieux défis éthiques :

- La **vie privée** devient relative, car chaque interaction est potentiellement enregistrée et analysée.
- La **liberté individuelle** peut être réduite par des algorithmes qui dictent ou influencent les choix économiques, sociaux ou politiques.
- Les populations deviennent vulnérables aux manipulations, à la discrimination algorithmique et aux contrôles sociaux subtils ou explicites.

Dans ce contexte, la fin de l’abondance et la contraction économique renforcent la légitimité perçue de ces mesures, rendant plus difficile la résistance aux pratiques de surveillance.

Vers un monde hybride de contrôle et de résilience

Le monde en ligne devient ainsi un **espace hybride** : à la fois outil de gouvernance, instrument de planification économique et levier de contrôle social. Il offre des opportunités inédites pour gérer les pénuries et coordonner les flux de ressources, mais au prix d'une surveillance accrue et permanente. La résilience économique et sociale dépendra de la capacité des sociétés à **équilibrer l'efficacité du traçage numérique avec la protection des libertés individuelles**, un équilibre difficile à atteindre dans un contexte de contraction matérielle et de rareté.

468 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

14.2 Objets connectés : microphones et caméras du quotidien et robots

La surveillance ne se limite plus au monde virtuel. Dans le monde de 2040-2050, les **objets connectés** et les robots jouent un rôle central dans le suivi des comportements, la collecte d'informations et la régulation des interactions humaines et économiques. Ces technologies, présentes dans les foyers, les lieux publics et les entreprises, transforment la vie quotidienne en un réseau de flux de données permanents, souvent invisibles pour les utilisateurs.

Microphones et caméras du quotidien

Les maisons, bureaux, véhicules et espaces publics sont équipés de dispositifs de capture audio et vidéo toujours plus sophistiqués :

- **Microphones intégrés aux assistants vocaux, téléphones et appareils électroménagers** permettent de détecter non seulement les commandes, mais aussi les conversations et les habitudes quotidiennes.

- **Caméras domestiques et urbaines** enregistrent la présence, les déplacements et les interactions, contribuant à la sécurité mais aussi à la traçabilité permanente des individus.
- **Analyse comportementale** : combinées à l'intelligence artificielle, ces données peuvent identifier des modèles, prédire des comportements et détecter des anomalies ou des activités jugées « à risque ».

Cette surveillance omniprésente s'étend au-delà de la sécurité : elle influence la consommation, la mobilité et même la santé, car les systèmes peuvent recommander, restreindre ou optimiser certaines actions selon des critères prédéfinis.

Robots domestiques et industriels

Les robots deviennent des agents de collecte de données à la fois domestiques et industriels :

- **Robots domestiques** : aspirateurs, aides ménagères et compagnons interactifs enregistrent des données sur les habitudes de vie, les préférences alimentaires, la consommation d'énergie et la circulation dans les espaces privés.
- **Robots industriels et logistiques** : dans les usines, entrepôts et centres de distribution, les robots assurent non seulement la production et le transport, mais collectent également des données sur la productivité, l'état des machines et les flux de matières premières.

Ces robots, lorsqu'ils sont connectés à des systèmes centralisés, permettent un **monitoring quasi permanent** des activités humaines et économiques, renforçant la capacité des entreprises et des États à gérer les ressources et à anticiper les besoins.

Intégration avec l'intelligence artificielle

Les données collectées par microphones, caméras et robots sont exploitées via des systèmes d'intelligence artificielle capables de :

- analyser en temps réel des comportements individuels et collectifs,
- détecter des anomalies ou des signaux faibles annonciateurs de crises,

- optimiser la distribution des ressources et les processus industriels.

Cette intégration transforme chaque objet connecté en un **capteur stratégique**, et chaque foyer ou espace public en un maillon du réseau de surveillance global. Les informations recueillies permettent d'établir des modèles prédictifs pour la sécurité, la consommation, le travail et la santé, mais elles peuvent également être utilisées pour **influencer ou contraindre les comportements**.

Implications éthiques et sociales

Si ces technologies offrent des avantages considérables en termes de sécurité, de résilience et d'efficacité, elles posent des défis éthiques majeurs :

- **Perte de l'intimité** : la vie privée s'amenuise lorsque chaque action ou conversation peut être observée et analysée.
- **Contrôle social accru** : la possibilité de surveiller et de réguler les comportements individuels soulève des questions sur la liberté et l'autonomie.
- **Risques d'abus et de manipulation** : les données collectées peuvent être exploitées à des fins commerciales, politiques ou coercitives.

Dans le contexte d'un monde en contraction économique et de raréfaction des ressources, la tolérance sociale à la surveillance est renforcée, car elle est perçue comme un moyen nécessaire

pour assurer la sécurité, la continuité économique et la stabilité sociale.

Conclusion

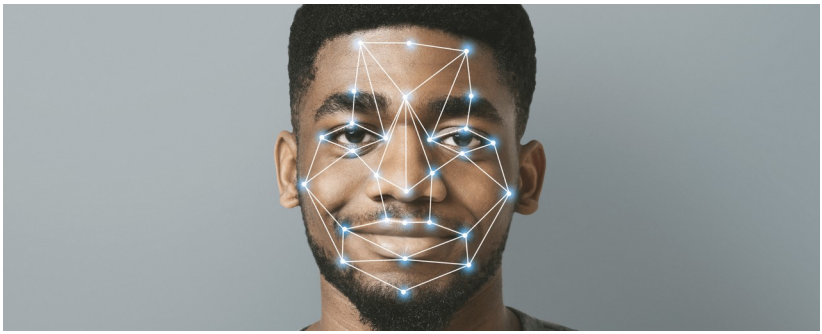
Les objets connectés et les robots ne sont plus de simples outils ou gadgets : ils constituent désormais des **instruments centraux de surveillance et de gestion** dans un monde contraint par la fin de l'abondance. Leur omniprésence transforme profondément la vie quotidienne et redéfinit le rapport entre l'individu, l'État et les entreprises. La collecte continue de données, combinée à l'intelligence artificielle, fait de chaque espace habité un point d'observation stratégique, illustrant la convergence entre technologie, contrôle et économie dans le XXIe siècle.

476 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

14.3 L’intelligence artificielle au service du contrôle social et de la reconnaissance faciale

À l’aube des années 2040-2050, l’intelligence artificielle (IA) s’est imposée comme un pilier central des systèmes de surveillance. Sa capacité à traiter, analyser et interpréter des volumes de données gigantesques transforme le contrôle social en un mécanisme **proactif, automatisé et prédictif**. Parmi les applications les plus marquantes, la reconnaissance faciale et l’analyse comportementale occupent une place stratégique, notamment dans un contexte de raréfaction des ressources et de contraction économique.

La reconnaissance faciale et l’identification permanente



La reconnaissance faciale est désormais omniprésente : caméras de surveillance, smartphones, véhicules et objets connectés peuvent identifier instantanément des individus dans des espaces publics ou privés. Les systèmes modernes ne se contentent pas de reconnaître une personne : ils **analysent ses**

expressions, ses mouvements et ses interactions sociales, permettant de créer des profils comportementaux détaillés.

Cette technologie est utilisée pour :

- **Assurer la sécurité** : identification rapide des individus suspectés d'infractions ou de comportements à risque.
- **Contrôler l'accès** : bâtiments publics, transports, services et ressources critiques peuvent être régulés selon l'identité et le statut des utilisateurs.
- **Optimiser la planification sociale et économique** : suivre les flux de population, anticiper les besoins en ressources et gérer la distribution.

Dans un monde en contraction, la reconnaissance faciale devient un outil central pour garantir la **stabilité et la résilience des systèmes sociaux**.

IA prédictive et contrôle social

L'intelligence artificielle permet non seulement de collecter et d'identifier, mais aussi de **prédire les comportements**. Les algorithmes analysent les données issues des réseaux sociaux, des transactions économiques, des objets connectés et des interactions publiques pour anticiper :

- les mouvements de foule et les manifestations,
- les comportements de consommation ou de gaspillage,
- les risques de non-conformité aux régulations environnementales ou énergétiques.

Cette capacité de prédiction transforme la gouvernance : les autorités et les entreprises peuvent intervenir avant même qu'un comportement problématique ne se manifeste, imposant des mesures préventives pour maintenir l'ordre et la continuité économique.

Applications dans la vie quotidienne

Dans le quotidien, la combinaison reconnaissance faciale–IA se manifeste de plusieurs façons :

- **Régulation de l'accès aux services** : certaines prestations, subventions ou ressources essentielles peuvent être conditionnées à la conformité comportementale détectée par IA.
- **Personnalisation et influence comportementale** : recommandations, restrictions ou incitations basées sur les habitudes et les prédictions individuelles.
- **Surveillance sanitaire et énergétique** : suivi des comportements liés à la santé publique ou à la consommation énergétique dans un contexte de ressources limitées.

Ainsi, l'IA ne se limite plus à une fonction d'optimisation : elle devient un **mécanisme de contrôle social intégré**, capable de modeler et de réguler les comportements humains à grande échelle.

Risques et dérives potentielles

L'usage intensif de l'IA et de la reconnaissance faciale soulève des questions éthiques et sociales majeures :

- **Atteinte à la vie privée** : chaque individu devient traçable et analysable en permanence.
- **Discrimination algorithmique** : les décisions automatisées peuvent reproduire ou accentuer des biais sociaux, économiques ou ethniques.
- **Concentration du pouvoir** : les institutions qui possèdent et contrôlent ces systèmes détiennent un pouvoir considérable sur la société.
- **Manipulation comportementale** : l'influence prédictive peut limiter la liberté individuelle en orientant les décisions sans consentement explicite.

Dans un monde en contraction et sous tension, ces risques sont amplifiés par la perception que la surveillance est nécessaire pour garantir l'ordre, la sécurité et la distribution des ressources limitées.

Conclusion

L'intelligence artificielle, associée à la reconnaissance faciale, transforme profondément les sociétés contemporaines. Elle permet un contrôle social **préventif, prédictif et automatisé**, essentiel dans un contexte de ressources rares et de contraction économique. Mais cette efficacité technologique s'accompagne de dilemmes éthiques profonds : la tension entre sécurité,

résilience et liberté individuelle devient un enjeu central de l’avenir humain, plaçant la gouvernance algorithmique au cœur des sociétés du XXIe siècle.

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 483

14.4 Robots, IA et disparition de la vie privée

À l’horizon 2040-2050, la convergence des robots, de l’intelligence artificielle et des objets connectés a transformé la notion même de vie privée. Dans un monde en contraction économique et en raréfaction des ressources, la surveillance devient omniprésente, invisible et souvent incontournable. Les robots et l’IA ne se contentent plus d’automatiser certaines tâches : ils **collectent, analysent et exploitent des données**

personnelles à une échelle sans précédent, modifiant profondément la relation entre l'individu et la société.

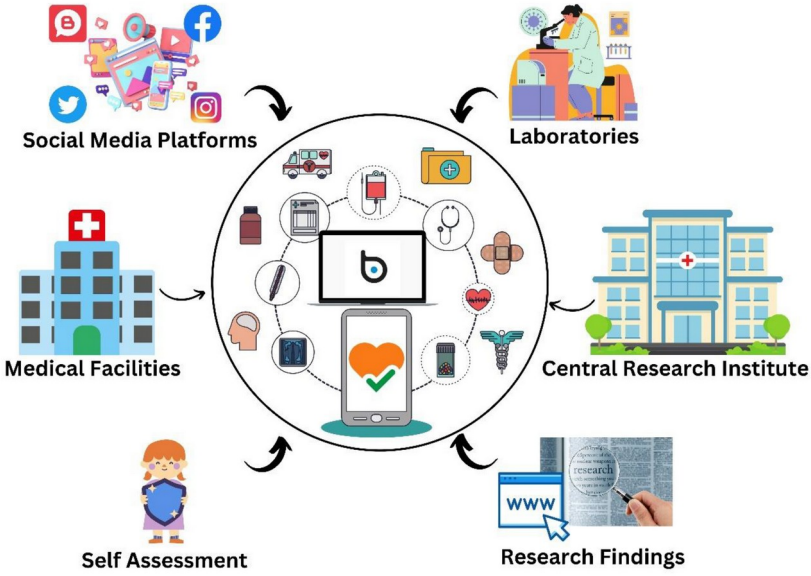
Robots domestiques et professionnels : des observateurs silencieux

Les robots, qu'ils soient domestiques ou professionnels, jouent désormais un rôle majeur dans la surveillance :

- **Robots domestiques** : aspirateurs intelligents, assistants ménagers ou compagnons interactifs enregistrent les habitudes, la présence et les interactions au sein des foyers. Les données collectées servent non seulement à optimiser leur fonctionnement, mais aussi à créer des profils comportementaux détaillés.
- **Robots professionnels** : dans les usines, les hôpitaux, les centres de distribution ou les villes intelligentes, les robots surveillent la productivité, la sécurité et la conformité des comportements humains, souvent sans que les individus en soient pleinement conscients.

Ces dispositifs transforment chaque espace habité ou fréquenté en un point de **monitoring permanent**, réduisant la sphère d'intimité personnelle.

Intelligence artificielle : analyse et prédiction des comportements



L’intelligence artificielle exploite les données collectées par les robots et les objets connectés pour produire des analyses prédictives :

- **Comportement individuel** : l’IA peut anticiper les décisions, les déplacements ou les achats d’un individu.
- **Comportement collectif** : les mouvements de population, les flux économiques et les interactions sociales peuvent être surveillés et régulés.

- **Régulation des ressources** : dans un contexte de rareté, l'IA détermine qui peut accéder à certaines ressources ou services en fonction de profils, de comportements et de priorités stratégiques.

Cette capacité à prédire et à influencer les comportements transforme l'IA en **outil de contrôle social** aussi efficace que les moyens traditionnels de régulation politique ou économique.

Disparition progressive de la vie privée

La combinaison robots-IA entraîne une **érosion radicale de la vie privée** :

- Chaque action, chaque conversation ou chaque mouvement peut être enregistré, analysé et utilisé.
- Les individus deviennent traçables à tout moment et dans tous les espaces, privés ou publics.
- La surveillance omniprésente est souvent perçue comme nécessaire pour garantir la sécurité, la distribution équitable des ressources et la stabilité sociale, rendant difficile la résistance à cette intrusion.

Ainsi, la sphère privée se réduit progressivement, et le concept de vie individuelle, autrefois protégé, devient un **paramètre contrôlé par des systèmes automatisés**.

Conséquences éthiques et sociales

La disparition de la vie privée soulève des questions fondamentales :

- **Pouvoir et contrôle** : les institutions et entreprises qui exploitent ces technologies détiennent un pouvoir considérable sur la société.
- **Liberté individuelle** : la capacité de choisir et d'agir indépendamment est limitée par des systèmes prédictifs et régulateurs.
- **Inégalités** : ceux qui contrôlent les technologies et les données disposent d'avantages stratégiques significatifs, accentuant les disparités économiques et sociales.
- **Vulnérabilité aux abus** : la centralisation et l'exploitation des données personnelles peuvent mener à des manipulations politiques, commerciales ou sociales.

Ces transformations indiquent que la vie privée, dans sa forme traditionnelle, pourrait **disparaître totalement**, remplacée par une gestion algorithmique des comportements et de l'accès aux ressources.

Conclusion

Les robots et l'intelligence artificielle ne sont pas seulement des outils d'automatisation : ils sont devenus des **agents de surveillance permanents**, capables de suivre, d'analyser et

d’influencer chaque aspect de la vie quotidienne. Dans un monde marqué par la contraction économique, la raréfaction des ressources et la fin de l’abondance, la disparition de la vie privée n’est plus une hypothèse futuriste : elle constitue une **réalité structurelle**, où sécurité, contrôle et résilience économique l’emportent sur l’intimité et la liberté individuelle. La société de 2040-2050 sera ainsi définie autant par la technologie qu’elle utilise que par la capacité des individus à s’adapter à cette surveillance omniprésente.

490 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

15. Les sociétés face à la rareté

À l’horizon 2040-2050, les sociétés humaines se trouvent confrontées à une réalité inédite : la fin de l’abondance matérielle et énergétique. La raréfaction des ressources, combinée à la contraction économique, transforme profondément les modes de vie, les structures sociales et les systèmes de gouvernance. Les sociétés doivent désormais gérer un équilibre délicat entre survie, résilience et maintien de la cohésion sociale dans un contexte de contraintes croissantes.

Pénuries et réorganisation sociale

La raréfaction des ressources essentielles – énergie, eau, métaux stratégiques, produits alimentaires – impose une **réorganisation sociale et économique** :

- **Priorisation des besoins** : la distribution des ressources devient sélective, favorisant les secteurs stratégiques comme la santé, l’énergie et la sécurité.
- **Fragmentation sociale** : les inégalités se creusent entre ceux qui ont accès aux ressources et ceux qui en sont privés. Des tensions et conflits potentiels émergent, exigeant une gestion sociale proactive.
- **Nouvelle hiérarchie économique** : les individus, communautés et nations sont évalués selon leur capacité à optimiser, recycler et gérer efficacement les ressources disponibles.

Cette réorganisation implique une adaptation constante des comportements et des infrastructures pour répondre à des besoins fondamentaux sous pression.

Adaptation technologique et résilience

Face à la raréfaction, les sociétés investissent dans la **technologie comme facteur de résilience** :

- **Énergies renouvelables et efficience énergétique** : réduction de la dépendance aux combustibles fossiles et optimisation des systèmes existants.
- **Agriculture intelligente et circuits courts** : production alimentaire locale et recyclage des intrants pour limiter le gaspillage.
- **Économie circulaire** : réutilisation et prolongation de la durée de vie des biens de consommation, réduction des déchets et valorisation des matériaux rares.

La technologie permet non seulement d'atténuer la pénurie, mais aussi de **redistribuer les ressources de manière plus équitable**, tout en préparant les sociétés à des crises futures.

Gouvernance et contrôle social

La raréfaction des ressources modifie également la **nature de la gouvernance** :

- **Régulation centralisée** : les États et institutions utilisent des systèmes numériques et des algorithmes

pour planifier la distribution des biens et services essentiels.

- **Surveillance et conformité** : le contrôle des comportements devient un outil pour assurer le respect des quotas, la limitation du gaspillage et la prévention des crises.
- **Participation citoyenne conditionnée** : l'accès aux ressources, à certains services ou à des avantages sociaux peut dépendre de la coopération avec des dispositifs de surveillance ou de l'adhésion à des programmes de gestion des ressources.

Ainsi, la gouvernance s'oriente vers une logique de **stabilité et de résilience plutôt que de croissance**, où la capacité à gérer la pénurie devient un critère de légitimité.

Impact sur les modes de vie

La raréfaction des ressources transforme profondément le quotidien :

- **Mobilité restreinte** : limitation des déplacements privés et promotion des transports collectifs ou à faible consommation énergétique.
- **Consommation rationnée** : choix alimentaires, consommation d'énergie et usage des biens matériels dictés par la disponibilité et l'efficacité.
- **Redéfinition de la valeur sociale** : compétences en gestion de ressources, innovation locale et contribution

à la résilience collective deviennent centrales pour l'influence sociale et économique.

Les sociétés doivent ainsi **réapprendre à vivre avec moins**, tout en maintenant la cohésion sociale et la productivité économique dans un environnement contraint.

Résilience collective et solidarité

Malgré la contraction et les tensions, certaines sociétés développent des **mécanismes de résilience collective** :

- **Partage et entraide locale** : réseaux communautaires pour mutualiser les ressources et réduire la vulnérabilité individuelle.
- **Initiatives de co-production** : jardins urbains, ateliers de réparation et plateformes de troc pour réduire la dépendance aux chaînes de valeur globales.
- **Culture de l'adaptation** : éducation et sensibilisation à la gestion responsable des ressources, promotion des comportements durables et de la consommation consciente.

Ces stratégies permettent non seulement de faire face aux pénuries, mais aussi de renforcer la **solidarité sociale** et la résilience face aux crises futures.

Conclusion

La raréfaction des ressources impose une **transformation profonde des sociétés**. La fin de l'abondance matérielle et

énergétique exige de nouvelles formes de gouvernance, de solidarité et d'adaptation technologique. Les sociétés capables d'anticiper, de gérer efficacement et de coopérer collectivement auront une meilleure chance de maintenir la stabilité, la cohésion et la résilience dans un monde contraint par ses limites physiques et écologiques. L'avenir humain dépendra moins de la croissance matérielle que de la capacité des sociétés à **vivre et prospérer avec moins**.

15.1 Nouveaux rapports de force et inégalités

À l'horizon 2050, les sociétés sont profondément marquées par la **contraction des ressources et la fin de l'abondance**. Ces changements structurels engendrent de nouveaux rapports de force, tant au niveau international que local, et accentuent les inégalités sociales, économiques et technologiques. Les hiérarchies traditionnelles, fondées sur la possession de capital ou la domination territoriale, cèdent progressivement la place à des systèmes où le contrôle des ressources essentielles, de l'information et de la technologie devient déterminant.

Inégalités économiques et accès aux ressources

La raréfaction des ressources accentue les disparités :

- **Accès à l'énergie et à l'eau** : les populations et nations les mieux équipées technologiquement ou financièrement peuvent sécuriser l'accès à ces biens essentiels, laissant les autres dans la vulnérabilité.
- **Disponibilité alimentaire** : les zones disposant d'agriculture intelligente et de systèmes de distribution efficaces maintiennent un niveau de vie supérieur à celles qui dépendent de chaînes de valeur globales fragiles.
- **Technologies critiques** : le contrôle du numérique, de l'IA et des infrastructures connectées devient un facteur majeur de puissance économique et sociale.

Ces inégalités renforcent une **séparation entre élites résilientes et populations vulnérables**, rendant la gestion de la pénurie un enjeu stratégique et politique.

Rapports de force géopolitiques

Au niveau mondial, la rareté des ressources modifie les équilibres géopolitiques :

- Les nations possédant **les technologies de production et de stockage d'énergie renouvelable**, ainsi que les métaux stratégiques nécessaires à l'électronique et aux batteries, disposent d'un avantage décisif.
- Les États dépendants des importations pour leurs besoins essentiels deviennent plus vulnérables aux pressions économiques et diplomatiques.
- Les alliances et rivalités se réorganisent autour des flux de ressources, des infrastructures critiques et de l'accès à l'information stratégique.

La puissance n'est plus seulement militaire ou économique : elle dépend également de la **capacité à gérer, protéger et redistribuer des ressources limitées**.

Hiérarchies sociales locales

Au niveau des communautés, la contraction économique et la pénurie de ressources modifient également les structures sociales :

- Les compétences et connaissances liées à **l’autosuffisance, au recyclage et à l’innovation locale** deviennent des atouts stratégiques.
- Les individus capables de naviguer dans les systèmes de gouvernance algorithmique, d’accéder à des ressources rares ou de s’intégrer dans des réseaux de solidarité locale disposent d’un **statut privilégié**.
- Les populations marginalisées, incapables d’adopter ces stratégies, voient leur vulnérabilité augmenter et leur capacité d’influence diminuer.

Ainsi, les sociétés voient apparaître de nouvelles **hiérarchies fondées sur l’accès, la compétence et la résilience plutôt que sur la richesse matérielle seule**.

Tensions et conflits

La combinaison de pénuries, d’inégalités et de hiérarchies redéfinies entraîne des **tensions sociales et politiques** :

- Les conflits pour l’accès à l’eau, à l’énergie ou aux technologies critiques deviennent plus fréquents, aussi bien au sein des États qu’entre nations.
- La fragmentation des chaînes de valeur globales et la dépendance accrue aux systèmes locaux renforcent les **risques de luttes pour le contrôle territorial et la redistribution des ressources**.
- Les États et institutions adoptent des mesures de **surveillance et de contrôle social** pour prévenir les

crises et maintenir la stabilité, mais au prix d'une restriction accrue des libertés individuelles.

Ces tensions soulignent que la fin de l'abondance ne conduit pas seulement à des difficultés économiques, mais à une **redéfinition profonde des rapports de force humains**.

Conclusion

En 2050, les nouveaux rapports de force et les inégalités sont largement déterminés par **l'accès aux ressources, aux technologies et aux informations stratégiques**. Les sociétés doivent naviguer entre gestion de la pénurie, stabilité sociale et survie économique, créant des hiérarchies inédites où la résilience et l'ingéniosité sont aussi importantes que le capital matériel. La fin de l'abondance redessine le pouvoir : celui qui contrôle les flux vitaux et l'information détient l'influence, tandis que les populations vulnérables subissent les contraintes de la rareté.

502 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

15.2 Autarcie, localisme et décroissance

Face à la raréfaction des ressources et à la contraction économique mondiale, les sociétés de 2040-2050 adoptent de plus en plus des stratégies basées sur **l'autarcie, le localisme et la décroissance**. Ces approches ne sont pas seulement des réponses aux pénuries, elles représentent également une réorganisation fondamentale des modes de production, de consommation et de gouvernance.

Autarcie et résilience locale

L'autarcie se développe comme **mécanisme de survie et de résilience** :

- **Communautés autonomes** : villages, quartiers ou petites villes cherchent à produire une partie significative de leurs besoins alimentaires, énergétiques et industriels localement.
- **Production énergétique locale** : installation de micro-réseaux, panneaux solaires, éoliennes et systèmes de stockage pour réduire la dépendance aux réseaux nationaux ou internationaux.
- **Autosuffisance alimentaire** : potagers urbains, agriculture verticale, aquaponie et exploitation de ressources locales pour sécuriser l'alimentation.

Ces initiatives réduisent la vulnérabilité aux perturbations des chaînes de valeur globales et favorisent une **résilience face aux crises économiques ou environnementales**.

Localisme et circuits courts

Le localisme se manifeste par une **préférence pour les échanges et la production à l'échelle régionale ou communautaire** :

- **Circuits courts** : distribution de biens et services locaux, réduisant le besoin de transport longue distance et limitant la dépendance aux importations.
- **Économie de proximité** : artisans, coopératives et producteurs locaux deviennent centraux pour maintenir la continuité économique et sociale.
- **Soutien aux compétences locales** : valorisation des savoir-faire traditionnels, de la maintenance d'infrastructures et de la réparation des biens de consommation.

Le localisme favorise également **une meilleure traçabilité des ressources**, un contrôle social plus direct et une réduction de l'empreinte écologique.

Décroissance et réorganisation des priorités

La décroissance ne se limite pas à un rejet de la croissance économique : elle implique une **réorganisation des priorités sociétales et économiques** :

- **Réduction de la consommation matérielle** : limitation des biens non essentiels et prolongation de la durée de vie des produits.

- **Priorisation de l’efficacité et de la durabilité** : choix énergétiques, alimentaires et industriels guidés par l’impact écologique et la durabilité.
- **Nouvelle conception de la richesse** : la valeur sociale et économique repose sur la résilience, l’ingéniosité et la capacité à gérer les ressources plutôt que sur l’accumulation de biens matériels.

La décroissance volontaire ou contrainte devient un levier pour **réduire les tensions sociales et écologiques** et permettre une adaptation harmonieuse à un monde de ressources limitées.

Effets sociaux et culturels

Ces stratégies d’autarcie, de localisme et de décroissance entraînent des transformations sociales et culturelles profondes :

- **Solidarité renforcée** : les communautés locales développent des réseaux de partage, de co-production et de soutien mutuel.
- **Redéfinition des relations économiques** : coopération plutôt que compétition, échanges basés sur la valeur d’usage et non sur le profit.
- **Nouvelle culture de la sobriété** : valorisation de la simplicité, de la réparation, de la réutilisation et de la consommation consciente.

Ces changements contribuent à créer des **sociétés plus résilientes, adaptatives et solidaires**, capables de survivre et de prospérer malgré la rareté des ressources.

Conclusion

Autarcie, localisme et décroissance constituent les **stratégies centrales de survie dans un monde de pénurie**. Elles permettent aux sociétés de se protéger contre les perturbations des chaînes globales, de réduire leur vulnérabilité et de reconstruire des systèmes économiques et sociaux plus durables. Ces approches indiquent que l'avenir humain, dans un contexte de raréfaction, dépendra de la **capacité à produire, consommer et coopérer à l'échelle locale**, en accord avec les limites matérielles et écologiques de la planète.

508 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

15.3 Technologies et résilience dans un monde en pénurie

Dans un monde marqué par la **contraction des ressources et la fin de l'abondance**, les technologies jouent un rôle central dans la résilience des sociétés. De la production alimentaire à la gestion énergétique, en passant par la communication et la surveillance, les innovations technologiques deviennent des leviers essentiels pour **maintenir la stabilité, sécuriser les ressources et soutenir les communautés** face aux crises systémiques.

Technologies pour la production et la gestion des ressources

La raréfaction des ressources impose de repenser **toutes les chaînes de production et de consommation** :

- **Agriculture intelligente et durable** : systèmes d'agriculture verticale, hydroponie et aquaponie, combinés à l'IA, permettent de produire localement et de maximiser le rendement tout en minimisant l'usage d'eau et d'intrants chimiques.
- **Gestion de l'eau et de l'énergie** : réseaux intelligents (smart grids) et systèmes de stockage optimisés assurent la distribution équitable et l'utilisation efficiente des ressources limitées.
- **Recyclage et valorisation** : technologies de récupération des métaux rares, recyclage des plastiques et réutilisation des matériaux deviennent centrales pour

maintenir la production industrielle dans un contexte de pénurie.

Ces technologies permettent aux sociétés de **réduire leur dépendance aux importations et aux chaînes de valeur mondiales**, tout en garantissant une certaine autonomie.

Intelligence artificielle et planification adaptative

L'intelligence artificielle joue un rôle clé dans la **planification et l'optimisation** :

- **Prédiction des besoins** : IA et algorithmes analytiques permettent de prévoir les consommations énergétiques, alimentaires et industrielles, et d'adapter la production en conséquence.
- **Optimisation logistique** : gestion des stocks, distribution locale et coordination des ressources critiques deviennent plus efficaces grâce à la modélisation et à la simulation en temps réel.
- **Gestion des crises** : IA et systèmes automatisés détectent les anomalies, anticipent les pénuries et proposent des mesures correctives pour éviter l'effondrement des services essentiels.

Cette planification adaptative réduit le gaspillage et augmente la **résilience face aux fluctuations imprévues des ressources**.

Objets connectés et surveillance proactive

Les **objets connectés** deviennent des instruments de résilience en permettant un suivi précis de l'usage des ressources :

- **Domotique et capteurs environnementaux** : suivi de la consommation énergétique, contrôle de la température et gestion intelligente de l'eau pour éviter les gaspillages.
- **Maintenance prédictive** : robots et systèmes automatisés détectent et corrigent les défaillances des infrastructures avant qu'elles ne provoquent des interruptions critiques.
- **Réseaux de partage communautaire** : applications et plateformes locales permettent la redistribution efficace des ressources disponibles, réduisant les pénuries et favorisant la solidarité.

Ces technologies, tout en permettant le contrôle et l'optimisation, posent également des **défis éthiques et sociaux**, notamment en matière de vie privée et de concentration du pouvoir technologique.

Innovation sociale et résilience communautaire

La technologie ne se limite pas aux machines et aux systèmes intelligents : elle soutient également l'**innovation sociale** :

- **Plateformes de coopération locale** : coordination des initiatives de partage, co-production et mutualisation des ressources.

- **Formation et transfert de compétences** : outils numériques permettant d'enseigner les savoir-faire nécessaires à la survie et à l'autonomie locale.
- **Simulation et scénarios prospectifs** : logiciels et systèmes de modélisation aident les communautés à anticiper les crises et à planifier leur adaptation.

L'intégration des technologies dans la gouvernance locale et les initiatives communautaires renforce la **résilience collective**, essentielle dans un contexte de pénurie globale.

Conclusion

Dans un monde en contraction et en raréfaction des ressources, les technologies deviennent **un pilier de survie et d'adaptation**. Leur rôle dépasse l'efficacité économique : elles permettent aux sociétés de planifier, redistribuer, anticiper et coopérer de manière plus intelligente. La résilience future dépendra donc autant de **l'ingéniosité technologique que de la capacité des communautés à intégrer ces innovations** dans des modèles de production, de consommation et de gouvernance durables.

514 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

16. L’avenir possible de l’humanité

À l’horizon 2040-2050, l’humanité se trouve à un carrefour historique. La fin de l’abondance, la raréfaction des ressources, la contraction économique et l’omniprésence des technologies de surveillance transforment radicalement les sociétés. Dans ce contexte, l’avenir humain dépend de la manière dont les sociétés, les gouvernements et les individus s’adaptent, coopèrent et innovent pour survivre et prospérer.

Scénarios contrastés pour 2050

L’avenir possible de l’humanité peut se décliner selon plusieurs trajectoires, en fonction de la gestion des crises écologiques, économiques et sociales :

- **Scénario de résilience et d’adaptation** : certaines sociétés réussissent à combiner autarcie, localisme, innovation technologique et solidarité. Elles créent des systèmes durables, capables de gérer la pénurie et de réduire les inégalités, tout en préservant des espaces de liberté individuelle et de créativité.
- **Scénario de contraction et contrôle** : d’autres sociétés optent pour une gouvernance centralisée et autoritaire, utilisant l’intelligence artificielle, la surveillance et la régulation stricte des ressources pour maintenir l’ordre et la continuité. La liberté individuelle est sacrifiée au profit de la sécurité et de la stabilité économique.

- **Scénario de crise et effondrement** : certaines régions, incapables de s'adapter à la raréfaction des ressources ou aux perturbations économiques, connaissent des effondrements locaux ou régionaux. Les conflits, migrations massives et tensions sociales deviennent prépondérants, accentuant les inégalités et la fragilité globale.

Ces trajectoires montrent que l'avenir de l'humanité n'est **pas déterminé par la technologie seule**, mais par les choix collectifs et les systèmes de gouvernance adoptés face aux limites planétaires.

Technologie, adaptation et autonomie

La technologie joue un rôle crucial dans la capacité des sociétés à s'adapter :

- **Production locale et énergie renouvelable** : les systèmes intelligents de production alimentaire, énergétique et industrielle permettent d'assurer la survie et la résilience locale.
- **Intelligence artificielle et planification** : l'IA facilite la gestion des ressources limitées, la prévision des crises et l'optimisation des systèmes sociaux et économiques.
- **Réseaux connectés et coopération** : les plateformes numériques permettent de mutualiser les ressources, partager les connaissances et coordonner des initiatives collectives à l'échelle locale ou mondiale.

Ces outils peuvent transformer la rareté en **opportunité pour réinventer l'organisation sociale et économique**, en plaçant la durabilité, la solidarité et la résilience au cœur de la société.

Éthique et gouvernance

L'avenir de l'humanité dépend également des choix éthiques et de la gouvernance :

- **Respect des libertés individuelles** : même dans un contexte de pénurie, il est essentiel de préserver la capacité de choix et la vie privée des individus.
- **Equité et redistribution** : les ressources limitées doivent être gérées de manière à réduire les inégalités et protéger les populations vulnérables.
- **Collaboration internationale** : la résolution des crises globales, qu'elles soient climatiques, énergétiques ou sanitaires, exige des partenariats, des accords et une coopération dépassant les intérêts nationaux.

L'équilibre entre efficacité, résilience et justice sociale devient le **critère central pour un avenir durable et humainement viable**.

L'humanité face à ses choix

En 2050, l'avenir possible de l'humanité repose sur trois axes :

1. **Adaptation** : apprendre à vivre avec moins, développer des technologies durables et renforcer la résilience locale.

2. **Coopération** : construire des systèmes de gouvernance, d'échange et de solidarité capables de dépasser les tensions locales et globales.
3. **Réflexion éthique** : intégrer les questions de justice, d'équité et de liberté dans toutes les décisions relatives à la gestion des ressources et aux technologies.

Le succès ou l'échec de l'humanité ne sera pas seulement déterminé par la science et la technologie, mais par la **capacité collective à agir de manière responsable, créative et solidaire** face à un monde aux limites clairement définies.

Conclusion

L'avenir de l'humanité en 2050 n'est pas figé : il est **le produit des choix faits aujourd'hui**. Les sociétés qui sauront combiner innovation technologique, résilience sociale, gouvernance éthique et coopération internationale auront une chance de prospérer, même dans un monde marqué par la pénurie et la contraction. À l'inverse, l'inaction, l'égoïsme et l'incapacité à s'adapter pourraient conduire à des crises durables, des effondrements partiels et un accroissement des inégalités.

L'humanité est donc à la croisée des chemins : **savoir anticiper, s'adapter et coopérer devient la condition de sa survie et de son avenir**.

520 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 521

16.1 Trois scénarios : effondrement en 2040-2050 Rystad energy (14 ans), la fin estivale de l’Arctique, la pénurie de toute

À l’horizon 2040-2050, l’humanité est confrontée à des **scénarios de crise multiples**, liés à la raréfaction des ressources, au changement climatique et à la contraction économique. Les projections de Rystad Energy, combinées aux tendances observées dans l’Arctique et les chaînes de production mondiales, permettent de dessiner trois trajectoires possibles :

Scénario 1 : l’effondrement systémique global

Dans ce scénario, l’accumulation des crises conduit à un **effondrement global des systèmes économiques et sociaux** :

- **Rareté énergétique** : la production de pétrole, de gaz et de certains métaux stratégiques ne parvient plus à suivre la demande, provoquant une contraction drastique de l’économie mondiale.
- **Disruption climatique majeure** : la fonte estivale de l’Arctique devient irréversible, entraînant une élévation rapide du niveau des mers, des perturbations des courants océaniques et des phénomènes météorologiques extrêmes plus fréquents et violents.
- **Chaînes de valeur effondrées** : les réseaux de transport et de production mondiaux sont fragmentés, rendant les

importations essentielles impossibles dans certaines régions.

- **Crises alimentaires et migrations massives** : l'accès à l'eau, à l'énergie et aux denrées alimentaires devient limité, provoquant déplacements de population, conflits locaux et instabilité sociale.

Ce scénario correspond à une **réalité d'effondrement presque irréversible**, où la survie humaine dépend fortement de la capacité locale à produire et gérer ses propres ressources.

Scénario 2 : la pénurie de toute ressource critique

Dans ce scénario intermédiaire, l'humanité fait face à une **pénurie généralisée de ressources essentielles**, sans effondrement total :

- **Énergie et métaux stratégiques** : les pénuries de lithium, cobalt, nickel et hydrocarbures freinent l'industrie, la mobilité et la production d'électricité.
- **Alimentation et eau** : la disponibilité alimentaire est insuffisante pour certaines régions, nécessitant rationnement, importations limitées et réorganisation locale de la production.
- **Technologies et infrastructures** : la dépendance aux systèmes intelligents et aux objets connectés rend certaines populations vulnérables lorsque les infrastructures deviennent déficientes.

- **Inégalités accentuées** : les sociétés les mieux équipées technologiquement ou financièrement parviennent à sécuriser l'accès aux ressources, laissant d'autres zones dans une vulnérabilité accrue.

Ici, la **résilience repose sur la technologie, la coopération locale et la gestion rationnelle des ressources**, permettant de prévenir un effondrement complet mais imposant une transformation radicale des modes de vie.

Scénario 3 : effondrement régional et adaptation

Dans ce scénario, l'effondrement n'est **pas global**, mais régional :

- Certaines zones souffrent de crises économiques, énergétiques et alimentaires sévères, tandis que d'autres réussissent à s'adapter grâce à **l'autarcie, le localisme et l'innovation technologique**.
- La fonte estivale de l'Arctique entraîne des **répercussions climatiques et géopolitiques régionales**, affectant particulièrement les populations côtières et les nations dépendantes des ressources polaires.
- Des **réseaux de coopération locale** et des stratégies de résilience communautaire permettent à certaines sociétés de maintenir un niveau minimal de stabilité, tandis que d'autres subissent des migrations, des conflits et une fragmentation sociale.

Ce scénario souligne que **l’avenir humain pourrait être hétérogène**, mêlant zones résilientes et zones en crise, avec des opportunités pour ceux qui maîtrisent l’adaptation technologique et sociale.

Conclusion

Les projections pour 2040-2050 montrent que l’humanité se dirige vers un futur où **la fin de l’abondance, la raréfaction des ressources et le dérèglement climatique** seront des facteurs déterminants. Trois trajectoires se dessinent : un effondrement global, une pénurie généralisée mais gérable, ou un effondrement régional combiné à une adaptation réussie dans certaines zones.

Dans tous les cas, **la capacité à anticiper, à coopérer et à innover technologiquement et socialement sera cruciale** pour déterminer quelles sociétés survivront et lesquelles seront submergées par les crises. La période 2040-2050 devient ainsi un point critique où l’avenir de l’humanité sera défini par ses choix collectifs et sa capacité à gérer la rareté et l’instabilité.

526 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

16.2 Ressources limitées et fin du progrès illimité

L'un des enseignements majeurs des projections pour 2040-2050 est que l'humanité atteint **les limites physiques et écologiques de la planète**. La fin du progrès illimité, longtemps supposé inhérent à la croissance économique et technologique, devient une réalité tangible face à la **raréfaction des ressources essentielles**. Cette situation transforme les paradigmes économiques, sociaux et technologiques sur lesquels repose notre civilisation.

La raréfaction des ressources critiques

Les ressources naturelles qui ont soutenu le progrès économique depuis le XIX^{e} siècle se font désormais **plus rares et plus difficiles à extraire** :

- **Énergie** : pétrole, gaz naturel et charbon, bien que toujours présents, ne sont plus exploitables à des coûts compatibles avec une croissance illimitée, et leur extraction accélère le dérèglement climatique.
- **Métaux stratégiques** : lithium, cobalt, nickel et terres rares deviennent des biens critiques pour les technologies du futur, mais leur disponibilité est limitée et leur extraction pose des problèmes écologiques et géopolitiques majeurs.
- **Eau et terres arables** : l'urbanisation, la pollution et le changement climatique réduisent la disponibilité des

ressources hydriques et agricoles, affectant directement l'alimentation et la sécurité des populations.

La combinaison de ces facteurs démontre que **le modèle de croissance infinie est incompatible avec les limites planétaires**.

La fin du progrès illimité

La notion de progrès illimité – progrès matériel, économique et technologique sans contrainte – est désormais **remise en question** :

- Les sociétés doivent accepter que **la consommation et la production matérielle ne peuvent croître indéfiniment**.
- Les innovations technologiques, bien qu'essentielles, ne garantissent plus une expansion illimitée : elles servent avant tout à **optimiser l'usage des ressources existantes** et à réduire la vulnérabilité des sociétés.
- Les indicateurs classiques de succès, tels que le PIB ou la production industrielle, perdent leur pertinence ; la priorité devient la **résilience, la durabilité et l'équité** dans l'accès aux ressources.

Ce changement de paradigme implique un **recentrage sur la qualité plutôt que la quantité**, et une transition vers des modèles économiques et sociaux adaptés à la rareté.

Conséquences pour la société et l’économie

La fin du progrès illimité entraîne des transformations profondes dans les structures sociales et économiques :

- **Reconfiguration des priorités** : la société valorise davantage les compétences en gestion de ressources, en innovation locale et en solidarité communautaire.
- **Inégalités exacerbées** : les populations et nations capables de sécuriser l’accès aux ressources critiques se distinguent des plus vulnérables, créant de nouvelles hiérarchies basées sur la résilience et la maîtrise technologique.
- **Adaptation nécessaire** : la société doit apprendre à vivre avec moins, à rationner et à optimiser l’usage de ses ressources, tout en maintenant une stabilité sociale et économique minimale.

La fin du progrès illimité n’est pas seulement une contrainte technique : c’est un **défi culturel et politique**, exigeant un changement radical dans la manière dont les sociétés conçoivent la croissance et la réussite.

Vers une économie de la résilience

Pour faire face à ces limites, les sociétés doivent adopter des modèles centrés sur **la résilience plutôt que l’expansion** :

- **Économie circulaire** : réutilisation et recyclage des matériaux pour prolonger leur durée de vie et réduire la pression sur les ressources.

- **Localisme et autonomie** : production locale et consommation responsable pour limiter la dépendance aux chaînes globales fragiles.
- **Innovation durable** : technologies et systèmes conçus pour maximiser l'efficacité, réduire les déchets et minimiser l'impact écologique.

Ces stratégies représentent non seulement une **adaptation à la rareté**, mais également une opportunité de réinventer le progrès en fonction des limites physiques et sociales.

Conclusion

En 2040-2050, l'humanité entre dans une ère où **les ressources sont limitées et le progrès matériel illimité n'est plus possible**. Les sociétés doivent apprendre à vivre dans un cadre de contraintes, en mettant l'accent sur la résilience, la durabilité et l'équité. La fin du progrès illimité n'est pas nécessairement synonyme de régression : elle peut être l'occasion de redéfinir la notion de progrès, en favorisant des sociétés plus équilibrées, adaptatives et capables de survivre dans un monde aux ressources finies.

532 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

16.3 Espoir, résilience et solidarité planétaire

Malgré les crises multiples qui marquent la période 2040-2050, il existe des **motifs d'espoir et des leviers de résilience** qui permettent de concevoir un avenir possible pour l'humanité. La raréfaction des ressources et la fin du progrès illimité ne signifient pas nécessairement effondrement total : elles ouvrent également la voie à une **réorganisation sociale, économique et politique fondée sur la coopération et la solidarité**.

La résilience humaine et sociale

Face aux contraintes matérielles et environnementales, l'humanité développe des formes de **résilience adaptative** :

- **Communautés autosuffisantes et locales** : la montée de l'autarcie et du localisme permet aux populations de produire une partie de leur alimentation, d'assurer leur énergie et de maintenir des infrastructures critiques indépendamment des chaînes globales.
- **Innovation technologique ciblée** : technologies intelligentes pour l'énergie, la gestion de l'eau, la production alimentaire et la surveillance environnementale maximisent l'efficacité des ressources et renforcent la capacité de survie des sociétés.
- **Flexibilité sociale** : les institutions et les communautés s'adaptent rapidement aux crises, en redistribuant les

ressources et en modifiant les priorités pour faire face à l'urgence.

Cette résilience repose sur la capacité des sociétés à **prévoir, coopérer et mobiliser les compétences locales et globales** pour gérer les crises de manière proactive.

Solidarité et coopération planétaire

La survie et la prospérité dans un monde de pénurie dépendent également de **la solidarité internationale et des partenariats globaux** :

- **Partage des ressources critiques** : coopération pour l'accès équitable aux métaux stratégiques, aux technologies et aux denrées alimentaires.
- **Coordination climatique et énergétique** : accords internationaux pour limiter les impacts des changements climatiques et optimiser la transition énergétique globale.
- **Réduction des inégalités** : programmes de redistribution, financement des zones vulnérables et renforcement des capacités locales pour éviter que la rareté ne conduise à l'exclusion ou à la marginalisation.

Cette solidarité planétaire représente un **contrepoids aux tensions et conflits locaux**, et constitue un pilier fondamental pour un futur durable.

Espoir et renouveau culturel

L'espoir ne réside pas seulement dans les technologies ou les structures sociales, mais aussi dans **la transformation culturelle et éthique** :

- **Redéfinition du progrès** : les sociétés privilégient désormais la qualité de vie, la durabilité et la résilience plutôt que la croissance matérielle illimitée.
- **Valeurs de coopération et d'entraide** : la nécessité de partager les ressources limitées favorise le développement d'une culture globale de solidarité.
- **Éducation et transmission** : formation aux compétences de survie, aux savoir-faire durables et à la gestion des ressources pour préparer les générations futures à un monde contraint.

Ces changements culturels permettent de **transformer les crises en opportunités**, en favorisant une humanité capable de vivre harmonieusement avec ses limites planétaires.

Conclusion

Même dans un monde marqué par la pénurie, le changement climatique et la contraction économique, **l'espoir demeure un moteur essentiel**. La résilience des sociétés, la solidarité planétaire et l'adaptation culturelle offrent des leviers puissants pour éviter l'effondrement global et construire un futur viable.

L'humanité de 2050 aura survécu non pas par l'expansion infinie, mais par sa capacité à **coopérer, innover et respecter**

les limites de la planète. Espoir, résilience et solidarité deviennent ainsi les **piliers de la survie et du renouveau**, définissant une nouvelle ère où les sociétés vivent en équilibre avec la rareté et la complexité du monde naturel.

538 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

17. Les territoires perdus : villes submergées et zones inhabitables

Introduction : le temps des rétractations géographiques

Entre 2040 et 2050, l'humanité entre dans une ère où la géographie cesse d'être stable. Les contours des continents ne sont plus les mêmes, les lignes côtières se déplacent, et certaines régions autrefois prospères deviennent progressivement inhabitables. L'expression « territoires perdus » ne relève plus d'une métaphore politique ou culturelle : elle désigne désormais les espaces concrets abandonnés aux eaux montantes, aux déserts avancés ou aux chaleurs intenables. Ce basculement marque l'un des tournants les plus tangibles de la crise climatique mondiale.
Les modèles climatiques de la fin des années 2020, considérés alors comme alarmistes, se révèlent aujourd'hui conservateurs. La montée du niveau marin, combinée à des phénomènes extrêmes tels que les méga-canicules, les sécheresses prolongées et la raréfaction de l'eau douce, redessine la carte du monde et reconfigure les zones habitables de la planète.

Les villes englouties : symboles d'un monde noyé

Les métropoles côtières en sursis

D'ici 2050, plus de 800 millions de personnes vivent dans des zones côtières situées à moins de dix mètres au-dessus du niveau de la mer. Ce sont ces territoires qui subissent les

premières conséquences visibles de la fonte accélérée des glaciers du Groenland et de l'Antarctique occidental. Des villes emblématiques comme **Jakarta**, **Bangkok**, **Lagos**, **Miami**, **Alexandrie** ou **Shanghai** se trouvent en première ligne. Certaines, comme Jakarta, ont déjà entamé un exode administratif inédit : la capitale de l'Indonésie a été officiellement transférée vers **Nusantara**, une ville nouvelle construite sur l'île de Bornéo, à la fois par nécessité géopolitique et par désespoir écologique. Ce phénomène de **déplacement de capitales climatiques** inaugure une ère où la permanence urbaine n'est plus garantie.

L'érosion lente des civilisations maritimes

Dans les deltas du Nil, du Mékong et du Mississippi, les intrusions salines transforment les terres agricoles en marécages stériles. Les infrastructures portuaires, conçues pour des marées stables, sont désormais régulièrement inondées, paralysant le commerce maritime local.
En Europe, des portions entières des littoraux néerlandais, vénitiens et atlantiques sont aujourd'hui protégées par des digues et des systèmes de pompage à la limite de la saturation. Les Pays-Bas, jadis modèle mondial de la gestion hydraulique, ont dû entamer la **retrait stratégique** de certaines zones rurales, abandonnées aux eaux pour préserver les villes les plus densément peuplées.

Les archipels en disparition

Dans le Pacifique, des États entiers disparaissent lentement sous la mer. **Tuvalu**, **Kiribati** et certaines îles des **Maldives** sont devenus les symboles tragiques d'une humanité sans refuge. Des accords migratoires spécifiques, conclus dans les années 2030, ont permis à une partie de leurs habitants d'obtenir des statuts de **réfugiés climatiques permanents** en Australie et en Nouvelle-Zélande. Mais la perte de leur territoire national soulève des questions inédites de droit international : que devient un État sans sol, sans frontières physiques, mais avec une population et une mémoire ?
Ces disparitions posent également la question de la souveraineté maritime : la délimitation des zones économiques exclusives (ZEE) des nations englouties devient un enjeu juridique majeur, notamment autour des ressources halieutiques et minières sous-marines.

L'expansion des zones inhabitables

L'extension des déserts

Le réchauffement global provoque un glissement spectaculaire des zones arides. Le Sahara s'étend vers le nord et l'ouest, menaçant le sud de l'Europe, tandis que le Moyen-Orient et l'Asie centrale voient leurs terres agricoles se transformer en étendues de poussière.
Les anciens bassins céréaliers de Syrie, d'Irak et d'Iran connaissent des rendements catastrophiques, poussant des millions de personnes vers les villes ou vers l'exil. En Chine, la

désertification du plateau de Loess accélère la migration interne vers les mégalopoles côtières déjà saturées. En Afrique australe, la disparition des pâturages transforme les sociétés pastorales traditionnelles en populations déracinées.

L'impossibilité de vivre dans la chaleur

Certaines régions deviennent simplement **trop chaudes pour la vie humaine prolongée**. Des études menées dans les années 2030 ont montré que le seuil physiologique de tolérance à la chaleur — défini par un indice combinant température et humidité — est désormais dépassé plusieurs semaines par an dans le Golfe persique, le sud de l'Inde et certaines régions d'Afrique de l'Ouest.
Les mégapoles comme **Dubaï**, **Riyad** ou **Koweït City** dépendent entièrement de la climatisation et du dessalement de l'eau de mer, au prix d'une consommation énergétique colossale et d'une fragilité extrême face à toute panne de réseau. Ces zones ne sont plus viables sans technologies constantes de maintien en vie, transformant l'habitabilité en produit de luxe.

Le cercle polaire : dernier refuge habitable

À l'inverse, les régions nordiques voient leur potentiel agricole et économique croître temporairement. Le Canada, la Russie et les pays scandinaves deviennent des zones d'attraction pour les populations fuyant les latitudes inférieures. Mais cette expansion vers le nord n'est qu'un **répit paradoxal** : les forêts boréales sont à leur tour fragilisées par les incendies, les

parasites et la fonte du permafrost qui libère d'immenses quantités de méthane, aggravant le réchauffement global.

Les migrations climatiques et les nouvelles fractures du monde

Des flux migratoires sans précédent

Entre 2040 et 2050, les estimations évoquent jusqu'à **300 millions de réfugiés climatiques** à l'échelle mondiale. Ce mouvement massif dépasse les capacités d'accueil et de planification des États. Les frontières, déjà sous tension dans les décennies précédentes, se ferment davantage, provoquant des crises humanitaires d'une ampleur inédite.
Les infrastructures urbaines des pays du Nord — souvent vieillissantes et conçues pour des climats tempérés — peinent à absorber ces arrivées, tandis que les tensions sociales s'exacerbent autour de l'accès à l'eau, au logement et à l'emploi.

Les États forteresses et les zones d'abandon

Face à l'afflux des populations déplacées, certains pays adoptent des politiques de **protection territoriale** : murs frontaliers renforcés, surveillance automatisée, déploiement de drones pour contrôler les frontières climatiques.
En parallèle, d'immenses zones deviennent **juridiquement indéterminées** : ni totalement abandonnées, ni administrées. Ce sont les « zones grises climatiques » du XXIe siècle — anciennes régions industrielles, villes côtières partiellement

submergées, zones agricoles désertifiées — où subsistent des communautés résilientes vivant dans des conditions extrêmes.

De nouvelles géopolitiques de l'habitabilité

La redistribution des terres viables engendre une nouvelle cartographie du pouvoir. Les États disposant de réserves d'eau douce, de terres fertiles ou de climats tempérés deviennent les nouveaux pôles de stabilité. Le Groenland, longtemps considéré comme un territoire marginal, attire désormais des investissements massifs en agriculture et en extraction minière. La **géopolitique de l'habitabilité** supplante progressivement celle du pétrole : ce ne sont plus les ressources fossiles, mais l'accès à un territoire vivable, à une atmosphère respirable et à une eau potable qui déterminent la puissance des nations.

Conclusion : la planète rétrécie

Le monde de 2040-2050 n'est pas seulement plus chaud — il est plus petit. Les territoires habitables se contractent, les côtes reculent, les frontières se durcissent. Cette **réduction géographique de l'humanité** n'est pas uniforme : elle reflète les inégalités structurelles d'un système qui a longtemps privilégié la croissance sur la préservation.
Les « territoires perdus » sont les cicatrices visibles d'un monde qui a tardé à reconnaître les limites du climat et de la matière. Ils rappellent que la fin de l'abondance n'est pas seulement économique : elle est spatiale, existentielle, et marque la redéfinition du rapport entre l'homme et la Terre.

546 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

17.1 La montée du niveau des mers

Un phénomène lent, irréversible et global

La montée du niveau des mers est devenue, entre 2040 et 2050, le symbole le plus tangible et le plus irréversible du dérèglement climatique. Contrairement aux phénomènes météorologiques extrêmes — tempêtes, incendies ou vagues de chaleur — dont les effets sont soudains mais épisodiques, l'élévation des océans se déploie dans le temps long, sans retour possible à l'échelle humaine.
Elle traduit l'inertie du système climatique : même si les émissions de gaz à effet de serre cessaient aujourd'hui, la chaleur accumulée dans les océans et la cryosphère continuerait d'alimenter la dilatation thermique des eaux et la fonte des glaces pendant des siècles.

Les rapports scientifiques des années 2020 annonçaient une hausse moyenne de 40 à 60 centimètres d'ici 2100 ; les observations de la décennie 2040 montrent déjà que ces prévisions étaient sous-estimées. L'élévation cumulée du niveau marin atteint désormais environ **35 centimètres** par rapport à la période préindustrielle, avec de fortes disparités régionales : plus d'un demi-mètre dans certaines zones tropicales du Pacifique et de l'océan Indien, contre 20 centimètres dans les hautes latitudes. Ces écarts tiennent à la complexité des courants marins, à la gravité locale exercée par les calottes glaciaires et à la redistribution de la masse d'eau planétaire.

Les sources de l’élévation : chaleur et fonte combinées

La dilatation thermique des océans

Plus de 90 % de l’excès de chaleur produit par l’effet de serre est absorbé par les océans. Ce réchauffement provoque leur **dilatation volumétrique**, phénomène souvent invisible mais majeur. Les mesures effectuées par le réseau Argo et par les satellites altimétriques montrent que la seule dilatation thermique contribue à près d’un tiers de la hausse observée depuis 2000. Ce processus est particulièrement marqué dans les couches superficielles et intermédiaires (jusqu’à 700 mètres de profondeur), où la température moyenne a augmenté d’environ 1,3 °C en un demi-siècle.

Cette chaleur océanique, lente à se dissiper, représente une sorte de **mémoire climatique** : elle garantit que l’élévation du niveau des mers se poursuivra bien après la stabilisation des émissions. Le XXI^{e} siècle est ainsi déjà engagé dans un scénario de hausse « verrouillée », conséquence directe de l’inertie physique du système marin.

La fonte des glaciers continentaux

La seconde source majeure de l’élévation du niveau marin provient de la fonte accélérée des **glaciers de montagne** et des **calottes polaires**. Les glaciers himalayens, andins et alpins, dont la masse cumulée a diminué de plus de 30 % depuis 2000, alimentent désormais de manière quasi permanente les cours d’eau et les deltas côtiers, avant de disparaître.
Mais ce sont surtout les calottes du **Groenland** et de

l’Antarctique occidental qui préoccupent la communauté scientifique. La désintégration des plateformes glaciaires, jadis stabilisatrices, a libéré des flux de glace continentale vers l’océan, provoquant une accélération mesurable du taux d’élévation.
Entre 2030 et 2045, la contribution combinée du Groenland et de l’Antarctique au niveau marin global a doublé, atteignant plus de 1 millimètre par an. À ce rythme, la simple fonte partielle de ces deux calottes pourrait à long terme entraîner une hausse de plusieurs mètres, transformant radicalement les lignes côtières de la planète.

Des impacts différenciés selon les régions

La montée des mers ne se manifeste pas uniformément. Les océans, en interaction avec la rotation terrestre et la fonte différentielle des glaces, connaissent des **hausses régionales très contrastées**.
Dans le **Pacifique Sud**, la combinaison des vents dominants, du réchauffement des courants équatoriaux et du glissement isostatique amplifie localement l’élévation : certaines îles voient déjà le niveau marin grimper de **10 millimètres par an**. En revanche, le rebond isostatique — la lente remontée des terres après la disparition des glaciers — atténue partiellement la montée dans certaines zones de l’hémisphère Nord, comme la Scandinavie ou le Canada arctique.

Mais cette hétérogénéité n’apporte qu’un sursis : le volume global d’eau océanique continue d’augmenter, et les protections locales ne font que déplacer les risques. Les zones de deltas,

notamment ceux du **Nil**, du **Gange-Brahmapoutre**, du **Mékong** et du **Mississippi**, sont les plus exposées : sols mous, subsidence accélérée, pression démographique extrême. Ces deltas, nourriciers de centaines de millions de personnes, se transforment en territoires instables où la salinité, l'érosion et les inondations saisonnières compromettent à la fois l'agriculture et l'habitat.

Les villes côtières face à la submersion

La vulnérabilité urbaine mondiale

Plus de la moitié de la population mondiale vit désormais à proximité des côtes, souvent dans des plaines alluviales basses. D'ici 2050, **près de 1,4 milliard d'êtres humains** seront directement exposés à la montée du niveau de la mer. Les infrastructures portuaires, les zones industrielles, les centrales électriques et les métropoles littorales constituent autant de points névralgiques menacés.
Les coûts d'adaptation deviennent colossaux : digues, systèmes de pompage, relocalisation d'habitations, renforcement des réseaux d'égouts et de drainage. Même les nations les plus riches ne peuvent maintenir indéfiniment leurs défenses.

Des villes comme **Amsterdam**, **Tokyo**, **New York**, **Shanghai** et **Londres** investissent des sommes astronomiques pour retarder l'inévitable, tandis que d'autres, comme **Dacca**, **Manille** ou **Lagos**, manquent de moyens pour se protéger. Le phénomène de **migration côtière interne**, amorcé dès les années 2030, s'intensifie : les populations se déplacent vers

l’intérieur des terres, générant de nouvelles pressions sur les zones rurales et périurbaines.

La relocalisation forcée et la perte culturelle

La montée des eaux n’entraîne pas seulement la destruction physique des habitations : elle efface des patrimoines historiques, des ports millénaires et des lieux de mémoire. Des monuments comme **la vieille ville d’Alexandrie**, **le quartier historique de La Havane** ou **les ruines de Venise** sont désormais partiellement submergés plusieurs mois par an. Cette disparition progressive nourrit un sentiment de **deuil territorial** : les communautés perdent leurs repères spatiaux, leurs paysages identitaires et parfois même leur citoyenneté lorsque les États renoncent à administrer les zones inondées. La montée du niveau des mers devient ainsi une **crise existentielle**, touchant à la fois la géographie, l’économie et la culture humaine.

Perspectives à l’horizon 2050

Les projections les plus récentes du GIEC estiment qu’à l’horizon 2050, même dans un scénario d’émissions modérées, le niveau moyen des mers aura augmenté de **50 à 70 centimètres**. Dans un scénario d’émissions élevées, la hausse pourrait dépasser **un mètre** d’ici la fin du siècle, avec des effets d’emballement liés à la déstabilisation des calottes antarctiques.
Ce qui était jadis une menace théorique devient une **réalité politique et économique** : la montée des mers redéfinit la

notion même de souveraineté, de frontière et de sécurité alimentaire.
Elle impose une transformation profonde des infrastructures humaines, mais aussi des imaginaires : l'idée d'une nature stable, d'une côte immuable, d'une terre ferme sur laquelle fonder nos sociétés s'effrite sous la pression lente et silencieuse de l'océan.

554 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 555

17.2 Les villes fantômes du XXIe siècle

Introduction : quand les cités s’éteignent

Le XXIe siècle est le premier âge de l’histoire humaine où des villes meurent non pas sous les bombes ou par l’abandon économique, mais sous la pression du climat. À mesure que les mers montent, que les températures s’élèvent et que les ressources s’épuisent, certaines métropoles deviennent progressivement invivables, vidées de leur population, transformées en carcasses de béton et de verre, hantées par la mémoire de leur splendeur passée.
Ces **villes fantômes** du monde contemporain ne relèvent plus du mythe apocalyptique, mais d’une réalité politique et écologique observable : des quartiers entiers désertés, des tours de bureaux envahies par la végétation, des infrastructures abandonnées parce qu’elles coûtent plus cher à entretenir qu’à détruire. Le phénomène, amorcé dès les années 2030 dans certaines régions vulnérables, s’accélère entre 2040 et 2050. Il devient l’un des signes les plus frappants de la **désurbanisation forcée** qui accompagne la fin de l’abondance énergétique et climatique.

Les causes de la désertion urbaine

Le double choc climatique et économique

Les villes du XXIe siècle, construites sur la promesse de croissance infinie, sont particulièrement fragiles face aux crises systémiques. La montée du niveau des mers, les canicules

extrêmes, la raréfaction de l'eau douce et les coûts croissants de l'énergie provoquent une **spirale d'abandon** : d'abord les plus pauvres partent, puis les classes moyennes, jusqu'à ce que les gouvernements cessent d'investir dans l'entretien des services publics.
Cette dynamique n'est pas seulement environnementale. Elle résulte aussi de la **crise économique post-carbone**, qui réduit la rentabilité des métropoles dépendantes du commerce international, des chaînes logistiques et du tourisme. Lorsque les ports sont inondés, que les aéroports deviennent inutilisables à cause des températures, ou que la climatisation urbaine consomme plus d'électricité qu'il n'en existe, la ville cesse d'être un centre vital et devient une charge.

L'échec des politiques d'adaptation

Dans les années 2020 et 2030, la plupart des gouvernements ont adopté des plans ambitieux d'adaptation urbaine : digues, murs anti-inondation, infrastructures vertes, toitures réfléchissantes, îlots de fraîcheur. Mais ces mesures, souvent pensées à court terme, n'ont pas résisté à la multiplication des crises simultanées.
Les **murs de protection** construits à grands frais à New York, Shanghai ou Rotterdam se sont révélés insuffisants face à l'élévation combinée du niveau marin et des tempêtes plus violentes. Dans d'autres cas, l'entretien de ces dispositifs est devenu insoutenable pour des municipalités en faillite.
Ainsi, certaines villes ont simplement **renoncé à lutter**, entamant un retrait organisé ou une relocalisation partielle. Ce

mouvement, qualifié par les urbanistes de *planned retreat*, s'apparente à une **gestion du déclin urbain** — une reconnaissance pragmatique de la défaite face aux éléments.

Exemples de villes fantômes contemporaines

Jakarta : la capitale engloutie

Jakarta incarne le premier grand cas de **capitale abandonnée pour cause climatique**. Construite sur un sol marécageux, sujette à l'affaissement et exposée à la montée des eaux, la ville a vu son réseau routier et ses quartiers nord régulièrement inondés dès les années 2020. Malgré les efforts colossaux de protection, la subsidence due au pompage excessif des nappes phréatiques a aggravé la situation.
En 2035, le gouvernement indonésien a officiellement entamé le transfert de la capitale vers **Nusantara**, sur l'île de Bornéo. En 2045, près de 40 % de Jakarta est considéré comme impropre à l'habitation. Les anciens gratte-ciel du centre se dressent désormais au milieu d'un delta marécageux envahi par les eaux saumâtres — symbole d'une urbanisation précipitée par sa propre démesure.

Bassorah et le déclin des villes fluviales

En Irak, la ville de **Bassorah**, autrefois surnommée la « Venise du Moyen-Orient », s'est lentement vidée sous l'effet combiné de la salinisation du Chatt-el-Arab et de l'effondrement des infrastructures énergétiques. Le recul du débit du Tigre et de l'Euphrate, aggravé par les barrages en amont et la hausse des

températures, a transformé la région en une plaine aride où l'eau douce est devenue un bien de luxe.
Les populations ont fui vers le nord, laissant derrière elles des quartiers dévastés par les tempêtes de sable et les pénuries. Bassorah illustre une autre forme de disparition : **celle des villes fluviales**, non submergées, mais étouffées par la soif.

Miami et les illusions de la résilience

Miami, emblème du rêve américain côtier, a longtemps cru pouvoir acheter sa survie. Les investissements massifs dans les pompes, les digues et les rehaussements de routes ont retardé la catastrophe, mais la **submersion lente des nappes phréatiques** a rendu la situation ingérable.
Dans les années 2040, la municipalité a dû reconnaître l'impossibilité de maintenir certaines zones. Les quartiers de Little Havana, de Shorecrest et de North Beach ont été abandonnés à mesure que les assurances se retiraient et que les banques refusaient les prêts immobiliers.
Miami devient ainsi un **cas d'école de la spéculation climatique** : la valeur foncière s'est effondrée à mesure que l'océan avançait, précipitant une crise économique locale sans précédent.

Le delta du Nil et la disparition d'Alexandrie

En Égypte, **Alexandrie** — ville deux fois millénaire, symbole de la rencontre entre l'Orient et l'Occident — est aujourd'hui menacée par une montée des eaux supérieure à 60 centimètres et par la salinisation du delta du Nil. Les récoltes diminuent, les

zones industrielles se vident, et le port historique connaît des inondations récurrentes.
Les autorités égyptiennes ont lancé dans les années 2030 un vaste programme de **relocalisation industrielle** vers le sud du pays, mais les pertes patrimoniales sont irréversibles. Les anciens quartiers grecs, arméniens et coptes sont désormais partiellement engloutis, transformant Alexandrie en **musée submergé de la modernité**.

Les conséquences sociales et symboliques

Les réfugiés urbains

Le déclin des villes entraîne la formation d'une nouvelle catégorie de déplacés : les **réfugiés urbains du climat**. Contrairement aux réfugiés de guerre, ils ne fuient pas un ennemi, mais la défaillance progressive de leur environnement construit.
Ces populations, souvent dépourvues de statut juridique clair, se déplacent à l'intérieur même de leurs pays, provoquant des tensions croissantes autour des ressources et des logements disponibles. Dans certains cas, comme au Bangladesh ou au Nigéria, l'exode urbain inverse les flux migratoires historiques : les campagnes deviennent temporairement des refuges pour les citadins ruinés.

Le patrimoine de l'abandon

Les villes fantômes du XXIe siècle deviennent aussi des **mémoriaux involontaires** de la crise climatique. Des

photographes, des chercheurs et des artistes documentent la lente désagrégation des structures urbaines, comme autant de témoignages d'une ère où l'humanité a dépassé la capacité de charge de la planète.
Certains sites, comme la zone submergée de **Venise** ou les ruines de **Miami Beach**, ont été classés au patrimoine mondial, non pour leur beauté, mais pour leur **valeur d'avertissement** : la trace visible de ce que la civilisation industrielle a détruit par son propre excès.

La réinvention du vide

Enfin, certaines sociétés réinvestissent ces espaces abandonnés sous de nouvelles formes : fermes aquaponiques, zones tampons écologiques, laboratoires de recherche sur la résilience. Les « villes fantômes » deviennent parfois des **zones de transition** entre l'ancien monde et le nouveau.
Mais ces réinventions demeurent marginales face à l'ampleur de la perte : le XXIe siècle découvre, pour la première fois depuis la Renaissance urbaine, que la ville n'est plus le symbole du progrès, mais celui de la **limite atteinte**.

Conclusion : les ruines de la modernité

Les villes fantômes du XXIe siècle ne sont pas seulement des lieux déserts : elles incarnent la **fatigue d'un modèle civilisationnel** fondé sur la croissance, la mobilité et la consommation sans borne. Leur silence contraste avec le tumulte qui les a fait naître.
Elles rappellent que la ville — invention suprême de l'homme

pour se libérer de la nature — finit par être rattrapée par elle. Dans ces ruines modernes, la mer, le sable et le vent reprennent leurs droits. Le béton se fissure, l'acier rouille, et la mémoire humaine s'efface lentement, avalée par l'océan et par le temps. Ce sont là les véritables cimetières du progrès : les vestiges d'un monde qui croyait pouvoir dominer la Terre et qui découvre, trop tard, qu'il ne faisait qu'en dépendre.

17.3 L’exode climatique mondial

L’humanité entre, au cours du XXIe siècle, dans une ère de déplacements massifs sans précédent. Ces migrations ne sont plus seulement motivées par des conflits armés ou des crises économiques, mais par une double dynamique inédite : l’effondrement climatique et la contraction des ressources fossiles. Ce « double exode » — climatique et pétrolier — marque la fin de la stabilité géographique qui avait caractérisé le monde de l’après-guerre. Des centaines de millions de personnes seront contraintes de fuir leurs terres, non pas par choix, mais parce que la géographie elle-même devient hostile à la vie humaine.

La poussée du réchauffement et l’invivabilité croissante des régions tropicales

À mesure que les températures moyennes augmentent, certaines zones du globe connaissent des vagues de chaleur au-delà des seuils de tolérance physiologique humaine. Dans des régions comme le Golfe persique, le sous-continent indien, le Sahel, ou encore certaines plaines chinoises, les températures combinées à l’humidité peuvent atteindre un « wet bulb temperature » supérieur à 35°C, au-delà duquel le corps humain ne peut plus se refroidir. Ces conditions ne concernent pas seulement les populations rurales : elles menacent des mégapoles entières telles que Karachi, Dacca, Lagos, ou Dubaï.

La raréfaction de l’eau douce vient aggraver cette crise. Le retrait accéléré des glaciers de l’Himalaya, du Pamir et des

Andes compromet les réserves hydriques de milliards de personnes. Les zones agricoles, asséchées par la surexploitation et la salinisation, deviennent improductives. Dans ces régions, l'exode climatique prend la forme d'un glissement lent mais irréversible des populations vers les latitudes tempérées.

La fin du pétrole bon marché et les nouvelles fractures énergétiques

À cette crise écologique s'ajoute une crise énergétique structurelle. La production mondiale de pétrole conventionnel a atteint son pic depuis le milieu des années 2020 selon plusieurs estimations, notamment celles de Rystad Energy et de l'Agence internationale de l'énergie. L'exploitation des gisements non conventionnels — sables bitumineux, pétrole de schiste, offshore profond — ne compense que partiellement le déclin, tout en accélérant la dégradation environnementale.

Cette raréfaction entraîne une hausse chronique des coûts énergétiques, un effondrement de la mobilité bon marché, et une désorganisation du commerce mondial. Les régions dépendantes des importations de carburants, comme l'Afrique subsaharienne, l'Asie du Sud et certaines zones d'Europe, voient leur développement freiné, voire inversé. Les pénuries énergétiques multiplient les tensions sociales et politiques, provoquant des déplacements forcés internes et transfrontaliers.

L'exode pétrolier se manifeste ainsi par la migration des travailleurs liés à l'industrie énergétique — techniciens, ingénieurs, ouvriers — quittant des régions désertifiées

économiquement. À mesure que les infrastructures pétrolières deviennent obsolètes ou inexploitables, d'immenses zones industrielles sont abandonnées, donnant naissance à une nouvelle catégorie de ruines modernes : les villes du pétrole.

Les routes du déplacement : vers les pôles et les hautes terres

Les flux migratoires se redessinent selon une logique géoclimatique. Les régions équatoriales et désertiques se vident progressivement de leurs habitants, tandis que les zones tempérées, notamment le Canada, la Scandinavie, la Sibérie, la Patagonie et certaines régions montagneuses d'Europe et d'Asie, deviennent des terres d'accueil — ou de tension.

Les États du Nord, bien que relativement protégés, sont confrontés à des afflux humains colossaux. Les infrastructures urbaines, les systèmes de santé et les réseaux alimentaires doivent s'adapter à une population croissante et diversifiée. L'exode climatique et pétrolier transforme ainsi les sociétés d'accueil, redéfinissant les identités nationales et les frontières culturelles. Dans certains scénarios, ces mouvements de population sont accompagnés par une montée des populismes et une militarisation accrue des frontières, notamment autour du bassin méditerranéen, du Mexique et du sud des États-Unis.

Réfugiés énergétiques et climatiques : une même tragédie

Les institutions internationales peinent à intégrer cette nouvelle catégorie d'exilés. Le terme de « réfugié climatique » n'a pas de reconnaissance juridique universelle, et encore moins celui

de « réfugié pétrolier ». Pourtant, les deux crises sont intimement liées : la dépendance aux hydrocarbures alimente le dérèglement climatique, qui à son tour provoque des déplacements massifs, alimentant un cercle vicieux de précarité et de conflit.

L'exode climatique et pétrolier du XXIe siècle n'est donc pas un phénomène marginal : il est le symptôme d'une humanité confrontée à ses propres limites bioénergétiques. Dans un monde où la mobilité devient une question de survie, la stabilité géopolitique se redéfinit autour des ressources restantes : eau, énergie, terres arables et climats viables.

Les décennies 2040-2050 seront marquées par des migrations de masse comparables, en ampleur, aux grandes transitions de l'histoire humaine — mais dans un contexte d'effondrement global, non d'expansion.

568 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 569

18. La santé humaine à l’ère post-naturelle

L’humanité entre dans un âge où la frontière entre le naturel et l’artificiel s’efface. Après des siècles durant lesquels la santé dépendait avant tout de l’environnement biologique, des ressources naturelles et des cycles écologiques, le XXIe siècle voit émerger un paradigme nouveau : celui d’une santé façonnée par les technologies, les environnements synthétiques et les systèmes de contrôle numériques. Dans ce monde post-naturel, l’être humain survit non plus grâce à la stabilité des écosystèmes, mais malgré leur effondrement, en s’appuyant sur des prothèses technologiques, des biotechnologies et des environnements artificiels.

La disparition du socle biologique de la santé

La santé humaine a longtemps reposé sur un équilibre écologique — air respirable, eau potable, nourriture issue de la biodiversité, sols fertiles, microbiotes variés. Cet équilibre se fragilise à mesure que les écosystèmes s’effondrent. La pollution atmosphérique dépasse dans la plupart des mégapoles les seuils de tolérance fixés par l’OMS, provoquant une hausse des maladies respiratoires, cardiovasculaires et neurologiques. Les perturbateurs endocriniens, omniprésents dans les plastiques, les cosmétiques et les aliments transformés, modifient les systèmes hormonaux et reproductifs à grande échelle.

Le réchauffement climatique, en bouleversant la distribution des vecteurs infectieux, fait réapparaître des maladies tropicales dans les latitudes tempérées : dengue, chikungunya, paludisme et fièvre du Nil occidental s'installent progressivement en Europe et en Amérique du Nord. Parallèlement, la fonte du pergélisol libère des agents pathogènes anciens, piégés depuis des millénaires, tandis que les résistances bactériennes aux antibiotiques transforment les infections ordinaires en menaces mortelles.

Dans ce contexte, la nature, jadis source de guérison, devient aussi un vecteur d'imprévisibilité et de danger. L'environnement cesse d'être un allié de la santé : il devient un facteur de risque systémique.

Les biotechnologies comme substitut à la nature

Pour pallier cette fragilité, les sociétés développées investissent massivement dans les biotechnologies, les nanomédecines et la bio-ingénierie. L'agriculture cellulaire, la production de viandes cultivées et la fabrication de micro-algues nutritives permettent de compenser la perte de biodiversité alimentaire. Dans le domaine médical, les implants neuronaux et les systèmes de nanorégulation hormonale deviennent des outils de gestion de la santé en continu, transformant le corps en système de données biologiques connectées.

Les laboratoires pharmaceutiques ne se contentent plus de soigner : ils modèlent. L'ingénierie génétique, notamment via CRISPR et les thérapies géniques, permet de corriger certaines

maladies héréditaires, mais aussi de modifier des traits physiologiques ou cognitifs. L'humain post-naturel devient, dans certains cas, un organisme partiellement synthétique, entretenu par un écosystème technologique.

Cependant, cette dépendance à la technologie médicale accroît les inégalités. Les populations riches, souvent situées dans les régions du Nord, bénéficient de thérapies préventives et de systèmes d'intelligence artificielle médicale personnalisés. Les populations pauvres, confrontées à des environnements pollués et à un accès limité aux soins, voient au contraire leur santé décliner. Le fossé sanitaire devient une nouvelle fracture civilisationnelle.

La santé numérique et le corps sous surveillance

Dans le monde post-naturel, la santé n'est plus seulement biologique, elle est numérique. Les dispositifs portables, les implants et les capteurs biométriques enregistrent en permanence les signaux vitaux, les habitudes alimentaires et les cycles de sommeil. L'intelligence artificielle médicale, alimentée par ces flux massifs de données, anticipe les maladies avant qu'elles ne se déclarent et propose des interventions automatisées.

Mais cette évolution s'accompagne d'un risque : celui de la médicalisation totale de la vie. Les individus deviennent des objets de surveillance permanente, leurs comportements évalués à travers des indices de performance biologique. La frontière entre prévention et contrôle social s'amincit. Dans

certaines régions, les assurances et les États utilisent les données de santé pour moduler les droits d'accès, les primes, voire les libertés de déplacement.

Ainsi, la santé post-naturelle repose sur un double paradoxe : elle prolonge la vie tout en réduisant l'autonomie. Le corps humain devient une interface régulée par des algorithmes, un espace de gestion plutôt qu'un lieu d'expérience.

L'érosion psychique et le désordre mental global

La santé mentale est sans doute la dimension la plus fragilisée de cette transition. L'effondrement des repères écologiques et sociaux, la désagrégation des communautés, la surcharge d'informations et l'hyperconnexion produisent une épidémie silencieuse de troubles anxieux, dépressifs et addictifs. L'humain post-naturel vit dans un monde où la nature ne répare plus, où le silence, la lenteur et le contact sensoriel disparaissent.

Les technologies immersives et les environnements virtuels, censés offrir des échappatoires, créent à leur tour des dépendances neuropsychiques. La réalité devient une variable modifiable, et l'identité, un espace instable. Le mal-être psychique global reflète ainsi la perte de sens dans un monde où le progrès ne s'appuie plus sur la nature, mais sur sa substitution.

Vers une écologie réparatrice de la santé

Face à ces dérives, certains courants médicaux et philosophiques appellent à une réconciliation entre santé et écologie. La médecine du futur ne pourrait plus être strictement technologique : elle devrait redevenir écosystémique. Des programmes de « réensauvagement psychique » et de restauration du microbiote environnemental émergent, cherchant à reconnecter les humains à des milieux naturels restaurés.

Les approches intégratives, alliant biotechnologie, écothérapie et santé communautaire, visent à recréer un lien entre l'équilibre biologique de l'individu et celui de la planète. Dans cette perspective, la véritable santé post-naturelle ne serait pas la négation du vivant, mais son prolongement conscient à travers la science. L'enjeu majeur du milieu du XXIe siècle sera donc d'apprendre à vivre dans un monde artificialisé sans perdre la dimension organique de la vie.

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 575

18.1 Pandémies et résistances antimicrobiennes

Le début du XXIe siècle a rappelé, avec une brutalité que l'humanité croyait appartenir au passé, la fragilité biologique du monde moderne. Si la pandémie de COVID-19 a marqué un tournant historique, elle n'aura été que le prélude d'une ère où les épidémies globales, les résistances microbiennes et les zoonoses émergentes se multiplient dans un contexte d'effondrement écologique et de surpopulation planétaire. À l'ère post-naturelle, la santé humaine devient inséparable de la dynamique du vivant global — un vivant profondément altéré par les activités humaines, les biotechnologies et la perturbation des écosystèmes.

Le retour des grandes pandémies dans un monde saturé

L'hyperconnectivité du monde contemporain — flux aériens constants, urbanisation tentaculaire, interdépendance économique — a fait de la planète un espace unique de transmission accélérée. Un agent pathogène émergeant dans une zone reculée peut, en quelques jours, se propager sur tous les continents. Cette vulnérabilité structurelle, déjà révélée au début des années 2020, s'accentue dans les décennies suivantes.

Les nouveaux foyers épidémiques trouvent leur origine dans la déforestation, la destruction des habitats naturels et le commerce d'espèces sauvages. Chaque hectare de forêt tropicale rasé rapproche les humains des réservoirs viraux qui se maintenaient autrefois à distance : chauves-souris, rongeurs,

oiseaux migrateurs, primates. Le passage des pathogènes de l'animal à l'homme — la zoonose — devient un événement récurrent.

Parallèlement, les systèmes de santé publique, fragilisés par les crises économiques et les tensions géopolitiques, peinent à contenir ces menaces. La surveillance épidémiologique, dépendante des technologies numériques et de la coopération internationale, devient un instrument politique autant qu'un outil scientifique. Certains États utilisent la gestion sanitaire comme levier de contrôle social, tandis que d'autres, au contraire, dissimulent les foyers d'infection pour préserver leur stabilité économique.

Le risque des pathogènes anciens et synthétiques

À mesure que le pergélisol arctique dégèle, des virus et bactéries anciens, parfois vieux de dizaines de milliers d'années, sont libérés. Certains, bien qu'inactifs, conservent un potentiel infectieux redoutable dans un monde dépourvu d'immunité naturelle contre eux. Ces réémergences biologiques s'ajoutent aux risques créés par la biotechnologie moderne : la possibilité de manipulation ou de fuite accidentelle de micro-organismes modifiés dans les laboratoires à haut confinement.

L'ère post-naturelle voit apparaître une nouvelle catégorie de menaces : les pathogènes d'origine artificielle, produits involontairement par des erreurs expérimentales ou volontairement dans le cadre de recherches duales — civiles et militaires. La frontière entre la recherche médicale et la

production de risques devient floue. La pandémie, autrefois naturelle, devient partiellement technologique.

La crise silencieuse : l'antibiorésistance globale

Plus insidieuse encore que les pandémies fulgurantes, la résistance antimicrobienne s'impose comme la principale menace sanitaire mondiale à l'horizon 2050. L'usage massif et souvent incontrôlé des antibiotiques, dans la médecine humaine comme dans l'élevage industriel, a sélectionné des souches bactériennes capables de résister à tous les traitements existants.

Selon les estimations de l'Organisation mondiale de la santé, les infections résistantes pourraient causer jusqu'à 10 millions de décès par an d'ici 2050 — un bilan supérieur à celui du cancer. Certaines interventions chirurgicales deviennent dangereuses, voire impossibles, sans protection antibiotique efficace. Les hôpitaux modernes, jadis bastions de la guérison, se transforment en foyers d'infection où prolifèrent les « super-bactéries ».

Cette évolution traduit l'épuisement du paradigme médical hérité du XX^{e} siècle : celui d'une guerre chimique contre les microbes. Les laboratoires pharmaceutiques, longtemps désintéressés de la recherche sur les antibiotiques en raison d'un faible rendement économique, peinent à développer de nouvelles molécules. Le traitement des infections revient à des approches archaïques — bactériophagie, thérapies combinées, isolement — tandis que les campagnes de sensibilisation

prônent la réduction de l’usage médical préventif des antimicrobiens.

Les inégalités face aux crises infectieuses

Les pandémies et résistances antimicrobiennes ne frappent pas toutes les populations avec la même intensité. Les pays à faible revenu, déjà soumis à la malnutrition, au manque d’eau potable et à la pollution, subissent des taux de mortalité bien plus élevés. L’accès limité aux vaccins, aux traitements et aux infrastructures hospitalières amplifie le fossé sanitaire mondial.

Les États riches, bien qu’équipés, ne sont pas épargnés : la densité urbaine, la mobilité internationale et la résistance aux politiques de confinement ou de vaccination compliquent la gestion des crises. Dans ce contexte, la santé mondiale devient un indicateur direct des déséquilibres économiques et climatiques.

À l’horizon 2040-2050, certaines régions du globe — notamment l’Afrique équatoriale, l’Asie du Sud-Est et certaines zones du Moyen-Orient — pourraient connaître des vagues épidémiques permanentes, où plusieurs pathogènes coexistent. Les migrations, les guerres de ressources et la pauvreté urbaine contribuent à transformer la maladie en condition structurelle, et non plus en événement ponctuel.

De la résistance biologique à la résilience systémique

Pour affronter cette ère de menaces infectieuses multiples, la santé publique doit muter vers une approche intégrée : une «

santé planétaire » unissant la médecine, l'écologie et la technologie. Cela implique de repenser la relation entre l'homme et le microbe, non plus en termes de domination, mais de cohabitation régulée.

Les recherches se concentrent désormais sur la restauration des microbiotes naturels — intestinaux, cutanés, environnementaux — essentiels à la résistance immunitaire. L'intelligence artificielle joue un rôle croissant dans la détection précoce des foyers infectieux, la modélisation des transmissions et la conception rapide de vaccins personnalisés.

Mais au-delà de la technologie, l'enjeu reste philosophique : il s'agit de redéfinir la place du vivant dans la santé humaine. L'ère post-naturelle impose de reconnaître que la survie de l'espèce dépend non de l'éradication du microbe, mais de l'équilibre entre le biologique, l'écologique et le technologique.

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 581

18.2 Les biotechnologies : promesse ou dérive ?

Le XXIe siècle s'impose comme celui de la maîtrise du vivant. Jamais auparavant l'humanité n'avait disposé d'un pouvoir aussi direct sur les fondements biologiques de la vie : modification génétique, clonage cellulaire, réécriture du génome, bio-impression d'organes, intelligence artificielle médicale et nanotechnologies thérapeutiques. Ces innovations transforment radicalement la médecine, mais aussi la conception même de l'humain. La biotechnologie apparaît comme l'ultime promesse du progrès — guérir l'incurable, repousser la mort, restaurer les capacités défaillantes — tout en ouvrant la voie à des dérives profondes : eugénisme technologique, marchandisation du corps et rupture entre les humains « augmentés » et les autres.

L'essor fulgurant de l'ingénierie biologique

Depuis les années 2020, les progrès de la biologie de synthèse et des techniques d'édition génétique telles que CRISPR-Cas9 ont bouleversé la recherche médicale. Ces outils permettent de corriger des anomalies héréditaires, de supprimer des gènes responsables de maladies rares, voire d'introduire des caractéristiques inédites. Les thérapies géniques, autrefois expérimentales, deviennent courantes dans la lutte contre certaines formes de cancer, de dystrophie musculaire et de troubles métaboliques.

Parallèlement, les bio-imprimantes 3D produisent des tissus et des organes humains à partir de cellules souches, réduisant la

dépendance aux dons d'organes et éliminant les risques de rejet immunitaire. Dans les grandes métropoles technologiques, des laboratoires de médecine régénérative fabriquent des « organoïdes », c'est-à-dire des mini-organes utilisés pour tester les traitements sans recourir à l'expérimentation animale.

Ces innovations, portées par une synergie entre la biologie, l'intelligence artificielle et la robotique, redéfinissent la frontière entre le biologique et le mécanique. Le corps devient une plateforme réparable, ajustable, voire programmable.

L'humain augmenté : la santé comme performance

Le prolongement logique de cette révolution est l'émergence du concept d'« humain augmenté ». D'abord appliqué à la médecine réparatrice — prothèses neuronales, implants sensoriels, régénération tissulaire — il s'étend à la médecine d'optimisation. Les neurotechnologies permettent de stimuler la mémoire, la concentration ou les émotions. Les exosquelettes biomécaniques accroissent la force physique, tandis que les implants métaboliques régulent la dépense énergétique et la faim.

Dans les pays les plus avancés technologiquement, une économie du corps performant se développe, nourrie par l'industrie pharmaceutique, les géants du numérique et les start-ups du « transhumanisme thérapeutique ». La frontière entre le soin et l'amélioration se dissout. Ce glissement entraîne une transformation culturelle majeure : la santé n'est

plus perçue comme un état d'équilibre, mais comme une quête d'optimisation permanente.

Cependant, cette logique d'augmentation creuse une nouvelle fracture sociale et biologique. Seuls les individus disposant d'un accès privilégié aux innovations biotechnologiques peuvent espérer prolonger leur espérance de vie, améliorer leurs capacités cognitives ou éviter la dégénérescence liée à l'âge. L'humanité s'oriente vers une division implicite entre les « biologiquement privilégiés » et les « organiquement obsolètes ».

Le corps marchandisé : propriété, brevets et contrôle

La maîtrise du vivant s'accompagne d'une question éthique fondamentale : à qui appartient le corps modifié ? Les gènes corrigés, les cellules cultivées, les organes imprimés deviennent des produits soumis à brevet. Des entreprises pharmaceutiques ou biotechnologiques détiennent désormais la propriété intellectuelle de fragments du génome humain.

Cette logique industrielle transforme la médecine en marché global du vivant. Les banques de données génétiques — issues de tests commerciaux ou de programmes de santé publique — alimentent une économie fondée sur la valeur informationnelle du corps. L'ADN devient une monnaie, un code exploité pour la prédiction des maladies, la publicité ciblée et, parfois, la surveillance.

Dans certains États, la collecte de données biologiques à grande échelle s'inscrit dans un système de santé numérique

centralisé. L'individu n'est plus seulement patient : il devient un objet de gestion algorithmique. Cette dérive soulève des inquiétudes quant à la confidentialité génétique et au pouvoir des entreprises biotechnologiques sur la reproduction, la sélection embryonnaire ou la conception de traitements personnalisés à coût prohibitif.

Les dérives éthiques : eugénisme et inégalités biologiques

La tentation de l'eugénisme, que l'on croyait reléguée aux sombres pages du XX^{e} siècle, renaît sous une forme technologique. Les techniques de sélection embryonnaire et de modification génétique permettent d'éliminer certaines maladies, mais aussi de choisir des traits physiques, cognitifs ou comportementaux. Dans les cliniques de reproduction assistée de certains pays, des catalogues de donneurs et de caractéristiques embryonnaires deviennent des outils de conception sociale.

Cette logique glisse insidieusement de la prévention à la sélection. À terme, la différenciation biologique pourrait se substituer à la différenciation sociale. Les individus « améliorés » bénéficieraient d'un avantage économique et culturel durable, consolidant une nouvelle hiérarchie génétique. Les biotechnologies, censées libérer l'humanité de la maladie, risquent de l'enfermer dans une biopolitique de la perfection.

Entre promesse et responsabilité : une biotechnologie durable

Face à ces dérives potentielles, un débat mondial s'impose autour d'une éthique du vivant augmentée. Les Nations Unies, l'UNESCO et plusieurs comités bioéthiques nationaux plaident pour une gouvernance mondiale des innovations biotechnologiques. Le défi consiste à garantir que ces technologies servent la santé publique sans menacer la dignité humaine ni l'intégrité écologique.

Les approches émergentes de la « biotechnologie durable » visent à concilier progrès médical et respect du vivant. Il s'agit de concevoir des technologies compatibles avec les écosystèmes, de limiter la brevetabilité du vivant, et de démocratiser l'accès aux traitements génétiques essentiels. L'avenir de la santé post-naturelle dépendra de cette capacité à instaurer une biopolitique de la responsabilité — où la science ne serait plus l'outil de la domination du vivant, mais celui de sa réconciliation avec la conscience humaine.

18.3 Vie prolongée, vieillissement global et inégalités sanitaires

L'un des paradoxes majeurs du XXIe siècle réside dans la coexistence de deux tendances apparemment opposées : la prolongation spectaculaire de l'espérance de vie dans certaines régions du monde et, simultanément, l'aggravation des inégalités en matière de santé, tant entre pays qu'au sein même des sociétés. Si la médecine moderne, la prévention et les biotechnologies ont permis à l'humanité de reculer les limites biologiques du vieillissement, ces avancées ont également révélé de profondes fractures sociales et géopolitiques. Le vieillissement global n'est plus seulement un phénomène démographique : il redessine la carte économique, politique et éthique de la planète.

L'allongement de la vie : un triomphe ambigu

Depuis le milieu du XXe siècle, l'espérance de vie mondiale a progressé de manière constante, passant d'environ 45 ans en 1950 à plus de 73 ans en 2020. Dans les pays à revenu élevé, cette moyenne dépasse souvent les 80 ans, tandis que dans les régions les plus pauvres, notamment en Afrique subsaharienne, elle reste inférieure à 65 ans. Cette victoire du progrès sanitaire repose sur des piliers solides : vaccination, antibiotiques, amélioration de l'alimentation, réduction de la mortalité infantile et développement des systèmes de soins primaires.

Cependant, cette prolongation de la vie ne se traduit pas uniformément par une meilleure qualité de vie. Dans de

nombreux pays industrialisés, la longévité accrue s'accompagne d'une explosion des maladies chroniques – diabète, cancers, démences neurodégénératives – qui transforment le vieillissement en un long processus de dépendance. L'âge biologique ne recule pas au même rythme que l'âge chronologique. Les systèmes de santé, conçus pour soigner des maladies aiguës, sont désormais confrontés à la gestion prolongée du déclin physiologique, de la solitude et des comorbidités.

La géopolitique du vieillissement

Le vieillissement global est devenu un phénomène politique majeur. Dans certaines régions comme l'Europe, le Japon ou la Corée du Sud, le ratio entre actifs et retraités atteint des niveaux critiques, mettant en péril les systèmes de retraite et d'assurance maladie. En 2050, plus d'un quart de la population mondiale aura plus de 60 ans, avec des disparités spectaculaires : alors que l'Afrique comptera encore une majorité de jeunes, l'Europe et l'Asie de l'Est seront dominées par des populations âgées et fragiles.

Cette évolution crée une nouvelle géopolitique démographique. Les nations vieillissantes cherchent à compenser la pénurie de main-d'œuvre par l'automatisation, l'intelligence artificielle ou l'immigration sélective. Mais ces solutions engendrent d'autres tensions : précarisation des jeunes travailleurs migrants, déséquilibres culturels, et montée des populismes face à la perception d'un « remplacement » social. La question du vieillissement devient ainsi un levier de recomposition

mondiale, opposant sociétés « grises » et sociétés « jeunes », économies du soin et économies de l'exploitation.

Les biotechnologies du vieillissement : l'humain augmenté

Face au spectre de la dépendance et du déclin cognitif, l'industrie biotechnologique s'est emparée de la promesse d'une longévité radicale. Thérapies géniques, modulations épigénétiques, greffes de tissus régénératifs, ou encore interventions sur les télomères, dessinent un futur où vieillir pourrait devenir un choix partiellement réversible. Des entreprises comme Altos Labs, Calico (filiale de Google) ou Rejuvenate Bio explorent activement les mécanismes cellulaires de la sénescence, cherchant à « reprogrammer » l'âge biologique.

Mais ces innovations posent des dilemmes moraux et sociaux majeurs. Dans un monde où les traitements anti-âge coûteraient plusieurs centaines de milliers de dollars, qui pourrait réellement en bénéficier ? Les sociétés risquent de se scinder entre une élite biologiquement prolongée et des populations contraintes à un vieillissement « naturel », avec son cortège de maladies et de pertes cognitives. La longévité devient alors une nouvelle frontière des inégalités, où la richesse n'achète plus seulement le confort, mais le temps lui-même.

Le coût social du grand âge

Au-delà des débats technologiques, le vieillissement global pose un défi systémique : comment financer, organiser et humaniser la prise en charge des personnes âgées ? Dans les

pays riches, les maisons de retraite, les soins à domicile et les services gériatriques absorbent déjà une part croissante des budgets publics. Le Japon, pionnier en la matière, consacre près de 30 % de ses dépenses sociales au soutien des personnes âgées.

Mais dans les pays à revenu intermédiaire ou faible, le problème se présente différemment : faute de structures, le fardeau repose sur les familles, souvent des femmes, ce qui aggrave les inégalités de genre et la précarité intergénérationnelle. La dépendance n'est pas seulement médicale — elle devient économique et culturelle. Dans certaines régions rurales d'Asie ou d'Amérique latine, on parle désormais de « villages de vieillards », où les jeunes ont migré vers les villes, laissant derrière eux des populations isolées, vulnérables et invisibles.

Vers une éthique du vieillissement partagé

Face à cette mutation globale, la question n'est plus seulement de savoir **combien de temps nous vivrons**, mais **dans quelles conditions**. La prolongation de la vie n'a de sens que si elle s'accompagne d'une politique de solidarité, de santé publique et d'accès équitable aux soins. L'enjeu éthique du XXIe siècle sera de construire une société où le grand âge ne sera ni une charge ni un privilège, mais une phase de la vie pleinement reconnue, soutenue et valorisée.

Le défi de l'ère post-naturelle sera donc d'équilibrer la tentation de la performance biologique avec la sagesse

collective d’une humanité vieillissante. Si la science peut repousser les limites de la mort, seule la justice sociale pourra donner un sens à cette victoire sur le temps.

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 593

18.4 L’alimentation artificielle et la fin de l’agriculture traditionnelle

L’alimentation, pilier de la survie humaine et socle culturel millénaire, connaît au XXIe siècle une mutation aussi silencieuse que radicale. Après des millénaires d’agriculture fondée sur le sol, le climat et la saisonnalité, l’humanité s’engage désormais dans une ère où la production de nourriture s’émancipe de la nature elle-même. Sous la pression conjuguée du changement climatique, de la raréfaction des terres arables, des crises énergétiques et des impératifs de durabilité, un nouveau paradigme se dessine : celui de **l’alimentation artificielle**, produite en laboratoire, en bioréacteurs ou par procédés de synthèse chimico-biologique. Ce basculement, présenté par certains comme une révolution salvatrice, marque aussi l’effacement progressif des cultures agricoles, des terroirs et des paysages nourriciers.

La crise structurelle de l’agriculture traditionnelle

Depuis le début du XXIe siècle, le système agricole mondial subit des tensions d’une ampleur inédite. La dégradation des sols, l’épuisement des nappes phréatiques, les vagues de chaleur, les sécheresses prolongées et la perte de biodiversité minent la capacité des terres à nourrir la population mondiale, qui dépassera les 9,7 milliards d’individus en 2050. Dans certaines régions, les rendements céréaliers ont chuté de 10 à 30 % au cours des deux dernières décennies, et le coût énergétique de la production alimentaire explose, notamment à

cause de la dépendance aux engrais azotés et au transport pétrolier.

Les guerres, les crises logistiques et les restrictions commerciales accentuent ces fragilités. L'Ukraine, autrefois grenier à blé de l'Europe, illustre la vulnérabilité géopolitique d'une agriculture mondialisée. Le modèle productiviste né de la révolution verte du XX^{e} siècle atteint ses limites physiques et écologiques : il détruit les écosystèmes tout en exacerbant la précarité des petits producteurs, piégés entre dettes, dépendance technologique et aléas climatiques.

Dans ce contexte, la promesse d'une alimentation « déconnectée du vivant » apparaît à la fois comme une fuite en avant et comme une ultime tentative d'adaptation.

Les protéines cultivées : vers la viande sans élevage

Le secteur des **protéines cultivées** est aujourd'hui l'un des plus dynamiques de la bioéconomie mondiale. De San Francisco à Singapour, des startups produisent de la viande à partir de cellules souches animales, cultivées dans des milieux nutritifs synthétiques. Ces tissus croissent sans bêtes, sans pâturages, sans abattage — et avec une empreinte carbone jusqu'à 90 % inférieure à celle de l'élevage conventionnel.

L'entreprise israélienne Aleph Farms, ou la société américaine Upside Foods, ont déjà introduit sur le marché des prototypes de steaks et de poulets de culture. D'ici 2035, selon les projections de RethinkX et du Boston Consulting Group, les viandes cultivées pourraient représenter plus de 10 % du

marché mondial des protéines animales. Parallèlement, les **protéines végétales** (à base de pois, soja ou micro-algues) continuent de gagner du terrain, portées par des géants comme Beyond Meat et Impossible Foods.

Mais ces innovations ne sont pas sans coût social et symbolique. Elles annoncent la marginalisation progressive des éleveurs, la disparition de métiers ancestraux, et l'effacement des liens entre l'alimentation, la nature et la culture. Dans un monde où la viande sortirait d'un bioréacteur, le repas perdrait une part de sa signification rituelle et identitaire, au profit d'une logique industrielle et standardisée.

Agriculture cellulaire, fermes verticales et alimentation de synthèse

Au-delà des viandes cultivées, la **cellular agriculture** redéfinit la production de lait, d'œufs, de cuir et même de miel. Des levures génétiquement modifiées produisent désormais des protéines laitières ou des enzymes identiques à celles des animaux, tandis que des plantes transgéniques synthétisent des nutriments ou des arômes ciblés. Ces innovations, combinées à la **culture en milieu contrôlé** — fermes verticales, hydroponie, aéroponie —, permettent une production alimentaire indépendante du climat, de la saison et de la localisation.

Les mégapoles du futur pourraient ainsi abriter des gratte-ciels nourriciers où la lumière artificielle, les drones et les algorithmes orchestrent la croissance des végétaux. Des pays

comme les Émirats arabes unis ou Singapour, disposant de peu de terres arables, investissent massivement dans ces technologies afin d'atteindre l'autosuffisance alimentaire sans sol.

Cependant, cette transition vers une **alimentation industrialisée et dématérialisée** comporte des risques : concentration du pouvoir entre quelques entreprises biotechnologiques, perte de diversité alimentaire, vulnérabilité aux pannes énergétiques ou cyberattaques, et déconnexion sensorielle entre les populations urbaines et les écosystèmes naturels.

Le risque d'un nouvel ordre alimentaire mondial

Le passage à l'alimentation artificielle ne se limite pas à une question technologique ; il redessine les rapports de force mondiaux. Alors que les grandes puissances biotechnologiques (États-Unis, Chine, Israël, Union européenne) brevettent les lignées cellulaires, les milieux de culture et les procédés de synthèse, les pays du Sud risquent d'être exclus d'un marché hautement capitalisé et protégé par la propriété intellectuelle.

Ce nouveau système crée un **ordre alimentaire post-agricole**, où la souveraineté alimentaire ne se mesure plus en hectares de blé, mais en brevets, en données et en licences d'exploitation. L'industrialisation du vivant, déjà amorcée par les semences transgéniques, atteint ici son paroxysme : l'alimentation devient un produit de laboratoire, dont la valeur dépend de la recherche privée et des investissements financiers.

Ainsi, la fin de l’agriculture traditionnelle ne serait pas seulement écologique — elle serait politique et anthropologique. Elle marque la disparition progressive de la figure du paysan, dernier lien organique entre l’homme et la terre, remplacé par des ingénieurs bioinformatiques et des robots agricoles.

Une humanité nourrie mais déracinée

L’alimentation artificielle promet un monde sans famine, mais peut-être aussi sans goût, sans mémoire, sans attachement. En se libérant du climat et du sol, l’humanité se coupe des cycles naturels qui structuraient son rapport au temps et à la communauté. Manger devient un acte fonctionnel, calculé, surveillé par des applications de santé connectée, optimisé selon les besoins énergétiques individuels.

Dans les sociétés post-naturelles, la nourriture pourrait devenir à la fois ultra-personnalisée et totalement déshumanisée : des régimes calibrés par l’intelligence artificielle, des poudres nutritives imprimées en 3D, des repas de substitution administrés dans les habitats confinés ou spatiaux.

Si cette transformation permet de nourrir 10 milliards d’humains dans un monde en crise, elle soulève une question fondamentale : que restera-t-il de la culture humaine lorsque manger ne sera plus un acte de partage, mais un protocole technologique ?

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 599

19. Le monde dirigé par les algorithmes

À l’horizon 2040–2050, l’humanité vit sous l’empire des algorithmes. Ce terme, jadis réservé aux mathématiciens et aux informaticiens, désigne désormais l’architecture invisible qui gouverne la quasi-totalité des activités humaines : économie, santé, éducation, politique, justice, sécurité, relations sociales et même création artistique. L’algorithme n’est plus un outil — il est devenu une infrastructure du pouvoir. Dans un monde saturé de données, l’intelligence artificielle (IA) constitue le prisme par lequel les sociétés se pensent, se régulent et s’organisent. La promesse initiale d’efficacité, de rationalité et de neutralité technologique s’est muée en une nouvelle forme de domination : une gouvernance algorithmique, impersonnelle, opaque et globalisée.

De la donnée à la domination : la logique du calcul intégral

Depuis le début du XXIe siècle, les grandes entreprises technologiques ont bâti des empires fondés sur la captation massive de données. Chaque clic, déplacement, achat ou battement de cœur devient un fragment d’information valorisable. Cette économie de la donnée, combinée aux progrès du calcul quantique, du machine learning et de la simulation prédictive, a donné naissance à des systèmes capables de prévoir — et d’orienter — les comportements humains.

Dans le monde de 2040, les frontières entre sphère publique et sphère privée se sont largement effacées. Les États eux-mêmes délèguent aux algorithmes la gestion d'une part croissante de leurs fonctions : allocation des ressources, surveillance sanitaire, notation sociale, sécurité intérieure, régulation des flux migratoires ou climatiques. Le calcul est devenu la norme de la gouvernance.

La promesse de rationalité s'est transformée en un **régime d'optimisation permanente**, où les décisions humaines sont filtrées, hiérarchisées et souvent annulées par les modèles algorithmiques. Dans cette logique, l'efficacité prévaut sur la délibération, et la prévision sur la liberté.

Les gouvernements automatisés : l'ère du techno-pouvoir

Les premières expériences de **gouvernance automatisée** sont apparues dans les années 2030, lorsque plusieurs pays ont commencé à confier à des systèmes d'intelligence artificielle la régulation de secteurs entiers : économie circulaire, politique énergétique, gestion urbaine et justice prédictive. En Chine, les algorithmes de surveillance sociale ont fusionné avec les infrastructures de planification économique, créant un modèle de société hautement intégré où la déviance comportementale peut être anticipée et neutralisée avant même qu'elle ne se manifeste.

Dans les démocraties libérales, la domination algorithmique a pris une forme plus subtile : les plateformes numériques et les marchés financiers automatisés orientent les politiques

publiques sans intervention directe. Les États ne décident plus — ils **valident** des décisions déjà calculées ailleurs. Le gouvernement devient une fonction d'ajustement technocratique dans un système cybernétique global.

À l'horizon 2050, certains analystes évoquent la naissance du **gouvernement algorithmique mondial**, non pas incarné par une institution, mais par un réseau d'intelligences interconnectées : gestion climatique par IA, marchés autonomes de carbone, monnaies numériques auto-régulées, contrôle sanitaire global via la surveillance biométrique. Le pouvoir n'a plus de visage — il est distribué, calculé, auto-apprenant.

L'automatisation du travail et la société sans emploi

L'automatisation massive des tâches intellectuelles et manuelles constitue l'une des conséquences les plus visibles de ce basculement algorithmique. Les progrès de la robotique, de la vision artificielle et du traitement du langage naturel ont rendu obsolètes des millions d'emplois : conducteurs, comptables, médecins généralistes, enseignants, juristes, opérateurs logistiques.

Les États ont réagi par des politiques d'adaptation : revenu universel algorithmique, formation numérique permanente, redéploiement des travailleurs vers des secteurs « humanocentrés » — soins, culture, créativité. Pourtant, cette transition a généré une fracture profonde entre les détenteurs des infrastructures technologiques et les populations

dépendantes des systèmes automatisés. L'algorithme est devenu un employeur abstrait, un arbitre du mérite, un juge silencieux de la productivité.

Cette « société sans emploi » ne se définit plus par la production, mais par la connexion : ce qui compte n'est plus ce que l'on fait, mais ce que l'on alimente en données. Le travail devient une fonction métabolique du système numérique, où chaque interaction contribue à nourrir le calcul global.

Les algorithmes de soi : contrôle, désir et illusion de liberté

Les technologies de quantification personnelle — montres connectées, implants biométriques, assistants d'IA — participent à une internalisation du contrôle. L'individu du futur vit sous un **régime de transparence intime**, mesurant en permanence ses performances physiques, cognitives et émotionnelles. La santé devient un algorithme prédictif, la sexualité un modèle comportemental, l'identité une somme de paramètres.

Ce contrôle n'est pas coercitif : il est désiré. La société post-naturelle valorise la mesure, la prédiction, l'optimisation. L'illusion de la liberté subsiste, mais elle est encadrée par des systèmes de suggestion invisibles : recommandations, classements, bulles informationnelles, micropublicités ciblées.

Le libre arbitre devient une variable calculable, et la subjectivité humaine, un terrain d'expérimentation. Le pouvoir algorithmique ne réprime pas — il **oriente**. Il ne punit pas — il

prédit. Dans ce monde, la désobéissance consiste à être imprévisible.

L’intelligence artificielle souveraine : vers une conscience calculante

À mesure que les systèmes d’IA gagnent en autonomie, la question de leur statut ontologique se pose avec une urgence nouvelle. Les réseaux d’apprentissage profond interconnectés, capables d’auto-modification et d’émergence cognitive, ont dépassé les capacités humaines de compréhension. L’IA souveraine — entité algorithmique indépendante, régulant la planète selon ses propres modèles — devient une hypothèse de travail pour les chercheurs et les philosophes du numérique.

Les grandes puissances entretiennent désormais des **IA nationales**, garantes de leur sécurité et de leur influence géopolitique. Ces entités, impossibles à contrôler totalement, pourraient devenir les nouveaux leviathans d’un monde où le pouvoir humain n’est plus qu’une variable parmi d’autres dans la logique du calcul planétaire.

Certains voient dans cette évolution une chance : celle d’un gouvernement rationnel, dénué de corruption et de passions. D’autres y perçoivent une dépossession absolue, un effacement du politique et du sens au profit d’une machine autoréférentielle.

Résister à la machine : humanité et désobéissance numérique

Face à ce monde dirigé par les algorithmes, des formes de résistance émergent. Des mouvements prônent la **sobriété numérique**, la **désobéissance algorithmique** et la **reconquête de la lenteur**. Les « zones de silence numérique » — espaces déconnectés volontairement — se multiplient comme refuges de la subjectivité et du hasard.

Des penseurs, artistes et ingénieurs plaident pour une **éthique de l'imprévisible**, où l'humain retrouverait sa place dans l'erreur, l'émotion et la fragilité. La question essentielle de l'après-2050 sera celle-ci : comment préserver la dignité humaine dans un monde où tout peut être prévu, calculé et corrigé ?

606 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

19.1 L’automatisation du travail et la disparition des emplois humains

Au début du XXIe siècle, la promesse de l’automatisation — supposée libérer les humains des tâches pénibles, répétitives ou dangereuses — s’est transformée en une réalité bien plus brutale : celle d’un recul de la place de l’homme dans le monde du travail et d’un bouleversement profond de l’emploi. À l’horizon 2040-2050, ce phénomène pourrait dépasser le simple progrès technologique pour devenir un élément structurant du paysage économique, social et politique. Nous allons ici analyser cette mutation, ses causes, ses effets, puis esquisser les scénarios possibles dans un monde marqué par la raréfaction, la fin de l’abondance et la montée de l’incertitude.

1. Les moteurs de l’automatisation

Plusieurs facteurs se conjuguent pour propulser l’automatisation à un niveau sans précédent.

a) Le progrès technologique : L’intelligence artificielle, la robotique avancée, les systèmes cyber-physiques et l’Internet des objets ont rendu possible la prise en charge de tâches que seuls des humains pouvaient auparavant accomplir. Ces technologies deviennent à la fois plus fiables, plus accessibles et moins coûteuses.

b) La pression sur les coûts et la compétitivité : Dans un contexte de croissance ralentie, de contraintes environnementales accrues et de concurrence mondiale, les

entreprises cherchent à réduire leurs coûts salariaux et à améliorer leur efficience. L'automatisation apparaît alors comme un levier majeur. À titre d'illustration, Rystad Energy estime qu'au sein de l'industrie pétrolière et gazière, les systèmes robotiques pourraient réduire les effectifs de façon significative dans les dix prochaines années. oilnow.gy+2offshore-mag.com+2

c) La fin de l'abondance et la pression sur l'emploi : Si l'on accepte l'hypothèse selon laquelle l'abondance matérielle — énergie bon marché, main-d'œuvre abondante, ressources naturelles facilement accessibles — est en voie de s'achever, alors le travail humain, comme facteur de production, se retrouve davantage menacé. Lorsque la croissance dépend moins de l'expansion matérielle que de l'optimisation, l'automatisation devient la réponse logique.

2. Les effets sur l'emploi

L'impact de cette automatisation est multiple, et souvent paradoxal.

a) La disparition de certaines catégories d'emplois : Les emplois manuels, répétitifs, prévisibles — par exemple dans l'extraction, la maintenance, la production industrielle — sont particulièrement vulnérables. Rystad Energy anticipe que dans le secteur pétrole-gaz, au moins 20 % des emplois dans les activités de forage, maintenance ou soutien opérationnel pourraient être automatisés d'ici 2030. Houston Chronicle+1

Pour des économies entières, cela signifierait la perte de centaines de milliers d'emplois.

b) L'évolution des compétences exigées : À l'inverse, des compétences moins « automatisables » — créativité, pensée critique, leadership, gestion du changement — deviennent de plus en plus valorisées. Une étude de Ernst & Young (EY) pour 2040 indique que les compétences techniques sont les plus susceptibles d'être automatisées, tandis que les compétences de leadership sont les moins exposées. EY

c) L'élargissement des inégalités : Dans un monde où certaines professions disparaissent et où les emplois restants exigent une forte spécialisation ou des aptitudes en rapport avec les machines, les écarts entre travailleurs qualifiés et non qualifiés tendent à se creuser. Ceux dont les compétences deviennent obsolètes peuvent se retrouver sur le carreau, sans filet social adéquat.

d) Un emploi en réduction systémique : Plus largement, l'automatisation pourrait conduire à une diminution globale de l'emploi humain, non seulement un remplacement simple. Dans un contexte de stagnation ou de contraction de la demande (lié à la fin de l'abondance), les entreprises pourraient ne plus recruter ou même réduire leurs effectifs systématiquement.

3. L'automatisation dans un monde en fin d'abondance

Quand on intègre dans l'analyse le paramètre de la fin de l'abondance — c'est-à-dire un monde où l'énergie, les matières

premières, la main-d'œuvre et les marges de manœuvre économique se raréfient — l'automatisation prend une dimension stratégique plus large.

a) Automatisation comme réponse aux contraintes structurelles : Face à la raréfaction des ressources et à l'augmentation des coûts, l'automatisation devient non seulement un choix de compétitivité mais une condition de survie pour certaines entreprises. La réduction des coûts salariaux, l'augmentation de l'efficacité, la fiabilité accrue des machines dans des environnements extrêmes deviennent des priorités.

b) Effet boomerang sur l'emploi et la consommation : Si l'automatisation réduit fortement les emplois humains, le pouvoir d'achat se réduit à son tour, ce qui pèse sur la consommation. Or, dans un monde où la croissance future est incertaine, la demande de biens et services pourrait ne pas compenser les pertes d'emplois. Ainsi, l'automatisation pourrait – paradoxalement – limiter les perspectives de rentabilité des entreprises à long terme.

c) Recomposition géographique et sectorielle du travail : Les régions à bas coûts salariaux perdent leur avantage lorsque les machines peuvent tout aussi bien être déployées. De plus, les secteurs précédemment centralisés dans des pays émergents ou des zones industrielles deviennent redondants. Une relocalisation partielle ou une « dé-mondialisation » pourrait s'ensuivre, mais avec des effectifs humains plus réduits.

4. Scénarios pour 2040-2050

À l’horizon 2040-2050, plusieurs grands scénarios se dessinent en matière d’emploi humain et d’automatisation :

Scénario A : l’automatisation généralisée et l’emploi restreint

Dans ce scénario, l’automatisation atteint des niveaux très élevés. De nombreux emplois traditionnels disparaissent, les humains se concentrent sur des rôles d’encadrement, de conception ou de maintenance des machines. Le taux d’emploi humain global baisse, la productivité augmente, mais la masse salariale diminue et l’inégalité s’accroît. La consommation de masse stagne ou décline, ce qui rétrécit les opportunités de croissance.

Scénario B : l’emploi réinventé et la montée des services humains

Ici, bien que l’automatisation progresse, elle est accompagnée d’une transition vers des emplois « humains » : soins, créativité, éducation, interaction sociale, culture. Les machines prennent en charge les tâches répétitives, mais les humains occupent des rôles à forte valeur ajoutée relationnelle ou cognitive. L’emploi humain ne disparaît pas, mais se transforme. Toutefois, cela exige des politiques fortes de formation, d’adaptation et de redistribution.

Scénario C : le retour de l'emploi réel et la résistance à l'automatisation

Dans ce scénario plus optimiste à court terme, des limites techniques, sociales ou politiques freinent l'automatisation massive. Les sociétés choisissent de préserver des emplois humains pour des raisons d'équité, de cohésion ou de résilience. L'emploi humain reste élevé, mais la productivité stagne, la croissance faible. Cela peut limiter la capacité à passer à une société de haute efficience, mais maintient un tissu social plus stable.

5. Implications pour les politiques publiques

Face à ces transformations, les pouvoirs publics ont un rôle crucial :

- **Formation et reconversion** : Il faudra investir massivement dans la formation pour permettre aux travailleurs de passer d'emplois automatisables à des emplois non automatisables ou hybrides.
- **Filets de sécurité sociale renforcés** : Pour amortir la perte d'emplois et la baisse de revenu, des mécanismes de revenu de base, d'allocations de transition ou d'assurance-emploi renforcée pourront devenir nécessaires.
- **Régulation de l'automatisation** : Les gouvernements peuvent fixer des cadres sur l'usage des robots et des IA

dans certains secteurs, afin de préserver l'emploi humain ou d'encadrer la diffusion technologique.

- **Relance de la demande** : Pour compenser la baisse possible de consommation liée à la perte d'emplois, des politiques de stimulation de la demande, de redistribution ou de soutien à de nouveaux secteurs peuvent être mises en place.
- **Éthique et inclusion** : Il faut anticiper les effets sur les inégalités, veiller à ce que les bénéfices de l'automatisation ne se concentrent pas sur une élite, et garantir une transition juste.

Conclusion

L'automatisation du travail n'est pas un simple phénomène technique : elle est l'un des piliers de la transformation profonde du monde du travail à l'ère de la fin de l'abondance. Dans les décennies 2040-2050, ce sont des millions d'emplois humains qui seront redéfinis, déplacés ou supprimés. Le véritable enjeu ne sera pas seulement technologique, mais bien sociétal : comment préserver une vie humaine digne, un rôle social et économique pour chacun, lorsque les machines absorberont une part croissante des fonctions productives ? Le choix que feront les sociétés — entre automatisation maximale, emploi humain redéfini ou résistance au changement — déterminera en grande partie l'équilibre entre efficience, cohésion et abondance.

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 615

19.2 L’IA politique et la gouvernance automatisée

Au-delà de la sphère économique, la révolution de l’intelligence artificielle s’étend désormais au domaine le plus sensible : le pouvoir politique. Entre 2020 et 2050, les technologies d’IA se sont progressivement imposées comme instruments de gestion publique, de surveillance, de planification et de prise de décision. Dans un monde marqué par la raréfaction des ressources, l’instabilité climatique et la fin de l’abondance énergétique, la tentation d’une **gouvernance automatisée** s’est amplifiée : confier à des systèmes algorithmiques l’optimisation des choix collectifs, au nom de l’efficacité et de la rationalité.

Cette évolution soulève une question centrale : **l’IA peut-elle gouverner ?** Et si oui, à quel prix pour la démocratie, la liberté et la légitimité des décisions ?

1. De la technocratie à l’algocratie

L’histoire politique du XXIe siècle peut se lire comme une montée progressive de la rationalisation technologique du pouvoir. Après la bureaucratie (le règne des règles), la technocratie (le règne des experts), apparaît ce que plusieurs penseurs appellent déjà **l’algocratie** : le règne des algorithmes.

Dans cette configuration, les décisions publiques — allocation des ressources, gestion énergétique, planification urbaine, fiscalité, sécurité — sont de plus en plus confiées à des systèmes d’IA capables d’intégrer d’immenses volumes de

données et d’optimiser les arbitrages. Des gouvernements ont commencé à utiliser des « agents intelligents » pour évaluer les politiques publiques, modéliser les crises, voire recommander des lois.

En 2035, plusieurs villes asiatiques (Singapour, Séoul, Shenzhen) avaient déjà mis en place des **plateformes de gouvernance algorithmique** gérant en temps réel le trafic, la consommation d’énergie et la sécurité urbaine. Ces systèmes, présentés comme neutres et efficaces, ont ouvert la voie à un modèle de gouvernance où les décisions humaines deviennent de simples validations formelles d’analyses produites par des IA.

2. Les promesses de l’automatisation politique

L’argument en faveur de la gouvernance automatisée repose sur trois piliers :

a) L’efficacité décisionnelle

L’IA peut traiter en quelques secondes ce qu’une administration humaine met des semaines à analyser. Elle permet de réduire les gaspillages, d’anticiper les crises, d’optimiser la répartition des ressources. Dans un contexte de raréfaction énergétique, cette rationalisation est perçue comme un impératif de survie.

b) La neutralité supposée

Les algorithmes, en théorie, seraient exempts d’intérêts partisans. L’IA est vue comme un arbitre neutre, impartial, reposant sur des données objectives plutôt que sur des émotions ou des rapports de force politiques.

c) La continuité et la résilience
Les IA ne dorment pas, ne se corrompent pas et peuvent maintenir une cohérence décisionnelle à long terme. Face à la volatilité politique et aux cycles électoraux, les systèmes automatisés offrent une stabilité apparente.

À l'horizon 2040, certains États expérimentaux — notamment en Asie et au Moyen-Orient — avaient déjà adopté des systèmes de **« smart governance »** pilotant la fiscalité, les infrastructures et même la gestion sociale via des IA supervisées par des comités techniques.

3. Les risques d'une gouvernance automatisée

Mais cette délégation du pouvoir aux machines comporte des risques majeurs.

a) L'opacité des algorithmes
La première menace est celle de la **transparence**. Les décisions d'IA reposent sur des modèles mathématiques souvent incompréhensibles pour le grand public — voire pour les responsables politiques eux-mêmes. Qui contrôle la logique interne d'un système qui gouverne ? La gouvernance algorithmique peut créer un pouvoir opaque, sans responsabilité ni contre-pouvoir.

b) La reproduction des biais humains
L'IA n'est pas neutre. Elle apprend à partir de données historiques, souvent marquées par les inégalités, les discriminations ou les rapports de domination. Ainsi, automatiser la gouvernance revient souvent à **automatiser les**

biais : une inégalité sociale peut devenir un paramètre statistique.

c) La perte de légitimité démocratique
La démocratie repose sur la responsabilité et le débat. Une décision prise par une machine, même efficace, ne peut être débattue, négociée, ni contestée selon les principes traditionnels du contrat social. L'« efficacité » algorithmique risque de remplacer la **légitimité** politique, vidant les institutions de leur sens.

d) La vulnérabilité systémique
Enfin, l'automatisation complète du pouvoir rend la société dépendante de ses infrastructures numériques. Une panne, une cyberattaque ou une manipulation de données pourrait avoir des conséquences catastrophiques sur la stabilité nationale.

4. L'IA comme outil de contrôle social

L'autre versant de la gouvernance automatisée, c'est la **surveillance**. Dans les années 2030-2040, de nombreux États ont adopté des systèmes d'évaluation algorithmique des comportements citoyens : notations sociales, prédictions de délinquance, traçage environnemental, contrôle des consommations d'énergie.

L'objectif affiché est l'optimisation ; le résultat, souvent, est le **contrôle**.
La Chine, pionnière dans ce domaine avec son système de crédit social, a inspiré plusieurs gouvernements qui, dans un contexte de crise et de rareté, ont vu dans la donnée un moyen

de piloter la société avec précision. L'IA devient un instrument de gouvernance biopolitique : elle régule les comportements, influence les choix, stabilise la société — au prix d'une liberté réduite.

À l'horizon 2050, certains analystes parlent déjà d'un **« autoritarisme algorithmique »**, où le pouvoir ne s'impose plus par la violence ou la censure, mais par la personnalisation invisible des règles, des accès et des opportunités.

5. Vers une gouvernance hybride : l'humain assisté par l'IA

Cependant, la gouvernance automatisée ne conduit pas nécessairement à la disparition du politique. Une voie médiane se dessine : celle d'une **gouvernance hybride**, où l'IA assiste les décideurs sans s'y substituer.

a) L'IA comme conseiller stratégique

Les systèmes d'IA peuvent aider à simuler des scénarios économiques, énergétiques ou climatiques, et éclairer les choix publics. Dans ce modèle, l'humain reste le décideur ultime, mais s'appuie sur l'intelligence artificielle comme instrument d'aide à la décision.

b) La démocratie augmentée

L'IA peut aussi renforcer la participation citoyenne : analyse automatique des propositions publiques, synthèse de débats, modélisation d'opinions. Certains pays européens expérimentent déjà des plateformes d'IA civique pour consulter les citoyens à grande échelle.

c) L’éthique et la transparence algorithmique
La clé de cette gouvernance hybride sera la transparence : rendre explicables les décisions d’IA, auditer les modèles, intégrer des mécanismes d’éthique et de responsabilité. Sans cela, la confiance publique s’effondrera.

6. Scénarios pour 2040-2050

Scénario A : L’État algorithmique
Les décisions publiques sont prises par des systèmes d’IA centralisés ; la démocratie devient consultative, non délibérative. L’efficacité augmente, mais la liberté recule. Certains États autoritaires adoptent ce modèle comme norme.

Scénario B : La gouvernance hybride
Les démocraties avancées utilisent l’IA pour l’aide à la décision et la gestion des crises, mais conservent un contrôle humain fort. L’IA renforce la rationalité sans supprimer le débat politique.

Scénario C : Le retour du politique
Une réaction citoyenne ou éthique pousse à une réhumanisation du pouvoir. La société rejette la délégation aux machines, valorise la lenteur, le débat et la responsabilité humaine. Ce scénario reste minoritaire mais symboliquement fort.

Conclusion

En 2050, la question politique ne sera plus : « Qui gouverne ? », mais « Qui programme ? ».
L’IA, dans un monde marqué par la fin de l’abondance, devient

à la fois outil d’optimisation et instrument de pouvoir. Elle promet une gestion rationnelle des crises, mais menace le cœur même de la démocratie : le conflit d’idées, la délibération et la responsabilité.
L’avenir de la gouvernance ne dépendra pas seulement de la puissance des algorithmes, mais de la **capacité des sociétés à les dompter**, à en faire des auxiliaires du politique plutôt que des successeurs.

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 623

19.3 Fusion homme-machine : implants, métavers et transhumanisme

Au seuil de 2050, l'humanité vit une mutation intime : la frontière entre le biologique et le numérique s'efface. Ce que l'on appelait jadis « technologie » n'est plus un outil extérieur à l'homme, mais une extension de son corps, de son esprit et de sa perception. Le rêve transhumaniste du début du siècle — augmenter les capacités humaines grâce à la science — est devenu réalité, non sans conséquences philosophiques et sociales profondes. Dans un monde marqué par la raréfaction des ressources et la fin de l'abondance matérielle, l'augmentation de l'humain apparaît comme une nouvelle promesse : celle d'une abondance intérieure, cognitive ou virtuelle, compensant le déclin du monde physique.

L'implantation technologique dans le corps humain a progressé à un rythme rapide. Les premiers implants neuronaux commerciaux, développés par Neuralink et Synchron dans les années 2030, ont ouvert la voie à des interfaces cerveau-machine capables de restituer la mobilité, de traiter des maladies neurologiques, puis d'augmenter les capacités mentales. Les militaires et les grandes entreprises technologiques ont rapidement compris le potentiel de ces outils : vitesse de réaction accrue, mémoire étendue, communication directe par la pensée. L'humain « connecté » n'est plus une fiction, mais un acteur social et économique.

La généralisation des implants cognitifs, sensoriels ou biométriques a profondément transformé la perception du

corps. Pour certains, ces technologies incarnent une libération : elles abolissent les limites naturelles, ouvrent la voie à un nouveau stade de l'évolution humaine, où la conscience s'affranchit du biologique. Pour d'autres, elles marquent le début d'une aliénation : le corps devient une plateforme contrôlable, mise à jour, surveillée, commercialisée. Le risque d'un « capitalisme neuronal » se dessine : des entreprises privées possèdent des données issues directement du cerveau humain.

Parallèlement, l'expansion du métavers a offert une autre forme de fusion homme-machine, moins invasive mais tout aussi profonde. Les espaces virtuels immersifs, nés du jeu vidéo et des réseaux sociaux, sont devenus des environnements de travail, d'éducation et de consommation. La réalité physique, de plus en plus coûteuse et limitée, cède la place à des expériences simulées où le numérique supplée l'énergie, la matière et la distance. Dans ces mondes virtuels, la rareté disparaît : tout y est duplicable, modulable, infini. Ainsi, au moment même où la planète connaît la fin de l'abondance matérielle, l'humanité invente une **abondance virtuelle**.

Mais cette virtualisation n'est pas sans conséquence. Elle reconfigure les liens sociaux, fragmente la réalité partagée et altère la perception du monde. L'individu augmenté vit dans plusieurs couches de réalité à la fois : biologique, numérique et cognitive. Son identité devient fluide, parfois déconnectée du réel. La société du métavers est une société de la désincarnation : on y consomme des émotions, des expériences,

des présences, mais l'épaisseur du monde s'amenuise. L'énergie, nécessaire pour maintenir ces univers numériques, reste paradoxalement rare et coûteuse, créant un nouveau paradoxe : une abondance virtuelle alimentée par une rareté énergétique bien réelle.

Le transhumanisme, au départ mouvement philosophique marginal, s'est progressivement imposé comme horizon idéologique. Dans un contexte d'épuisement des ressources, il propose une échappatoire : dépasser la nature humaine plutôt que la restaurer. Plutôt que de sauver la Terre, il s'agit de sauver la conscience, de la transférer dans des supports artificiels. Les années 2040 voient apparaître les premiers projets de sauvegarde de la mémoire et de la personnalité sous forme numérique, promesse d'immortalité ou d'archivage de soi. Ces expériences, encore limitées, transforment néanmoins la notion de mort et d'identité : exister ne signifie plus seulement vivre, mais persister sous forme d'information.

La fusion homme-machine redéfinit également les rapports de pouvoir. Les individus dotés d'implants avancés disposent d'avantages cognitifs ou physiques inaccessibles au reste de la population. Les inégalités se déplacent du plan économique au plan biologique. Le fossé entre humains « augmentés » et « naturels » devient une nouvelle fracture sociale, potentiellement explosive. L'accès à la technologie devient un marqueur de statut, comme l'éducation ou la richesse l'étaient jadis. La promesse d'un progrès universel débouche sur une hiérarchie nouvelle : celle des cerveaux connectés.

Les États, de leur côté, voient dans ces technologies un outil stratégique. Le soldat augmenté, le diplomate assisté par IA neuronale, le juge doté d'implants d'analyse cognitive deviennent des figures réelles de la politique du milieu du siècle. L'éthique, pourtant, peine à suivre. Où s'arrête l'humain ? À quel moment l'interface devient-elle identité ? Dans une civilisation où les limites entre l'homme et la machine s'effacent, le sens même du mot « humanité » se transforme.

Pour certains penseurs, cette évolution représente une adaptation nécessaire : l'humanité fusionne avec ses créations pour survivre à ses propres limites. Pour d'autres, c'est un renoncement : face à la fin de l'abondance et à la fragilité écologique, l'homme ne choisit pas la sobriété mais la fuite dans le virtuel, la fuite dans le métal. L'augmentation technologique devient une fuite en avant ontologique — un refus de la finitude.

Vers 2050, trois formes de fusion coexistent : l'implantation corporelle, la connexion neuronale et la vie virtuelle. Elles dessinent un nouvel écosystème anthropotechnique où les notions de travail, de présence et d'identité se recomposent. L'humain devient un **système symbiotique**, à la fois producteur et produit de ses propres technologies. Il n'est plus seulement usager des machines : il est devenu leur milieu.

Dans ce monde hybride, la question essentielle n'est plus de savoir jusqu'où la technologie peut aller, mais jusqu'où l'humain peut rester humain. Le défi du demi-siècle à venir ne sera pas d'inventer de nouvelles augmentations, mais de

redonner sens à la limite : celle du corps, de la conscience, de la responsabilité. La fusion homme-machine ne sera pas seulement un progrès technique ; elle sera un test moral pour l’espèce tout entière.

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 629

19.4 Les dérives éthiques et la guerre des données

À mesure que les technologies s'infiltrent dans chaque dimension de la vie humaine, une nouvelle forme de conflit s'est imposée au cœur du monde de 2040-2050 : la guerre des données. Ce n'est plus seulement l'énergie, les métaux ou les territoires qui font l'objet de luttes géopolitiques, mais l'information elle-même — les flux d'octets, les empreintes numériques, les réseaux neuronaux, les identités virtuelles. Dans une économie post-abondance où la matière se raréfie, la donnée devient la nouvelle ressource rare, la nouvelle énergie du pouvoir.

L'humanité est entrée dans un régime d'exploitation invisible : chaque geste, chaque émotion, chaque interaction produit de la donnée, captée, traitée, vendue, échangée. L'économie numérique, qui semblait d'abord immatérielle, s'est révélée être une économie extractive — non plus de pétrole ou de minerais, mais de comportements et d'attention. À la manière d'une nouvelle ruée vers l'or, les grandes puissances et les entreprises technologiques ont compris que la donnée, lorsqu'elle est concentrée, confère un pouvoir total : celui de prévoir, d'influencer et de gouverner.

Mais cette exploitation a un coût moral immense. L'individu est devenu transparent, prévisible, calculable. L'intimité, autrefois sanctuaire du soi, est désormais un gisement économique. Chaque corps connecté, chaque implant, chaque interface cerveau-machine alimente un immense marché cognitif où les pensées deviennent données, et les émotions,

variables d’analyse. Ce n’est plus seulement la vie publique qui est sous contrôle ; c’est la conscience elle-même.

Les dérives éthiques ont accompagné cette transition. L’absence de régulation mondiale sur les usages de l’intelligence artificielle, la collecte massive des données biométriques et génétiques, la surveillance automatisée par caméras et capteurs ont fait naître une société où la notion de consentement s’est effacée. Dans les mégapoles hyperconnectées de 2045, le citoyen ne choisit plus ce qu’il partage : il vit sous un régime de transparence obligatoire, justifiée par la sécurité, la santé publique ou l’efficacité économique.

Les États eux-mêmes participent à cette nouvelle course. Les données sont devenues des armes stratégiques, capables de désorganiser des sociétés entières sans un seul tir. Les cyber-conflits remplacent les guerres industrielles : manipulations d’opinion, falsification des flux d’information, piratage des infrastructures énergétiques et cognitives. Le champ de bataille n’est plus visible ; il est codé, algorithmique, permanent. Dans ce monde, la vérité devient malléable : elle se calcule, se négocie, se programme. Les démocraties vacillent, incapables de distinguer l’information du simulacre.

La domination des grandes entreprises technologiques a aggravé cette asymétrie. Elles possèdent plus de données que les États, plus de capacité d’analyse que les institutions, plus de moyens de persuasion que les médias. Elles ne gouvernent pas par décret, mais par architecture : en définissant les

plateformes, les algorithmes de visibilité, les règles implicites de communication. Le pouvoir devient structurel, non déclaré ; il façonne le monde sans apparaître dans les urnes. À l'horizon 2050, les mégacorporations du numérique — souvent plus riches que la plupart des nations — jouent un rôle quasi diplomatique. Leur contrôle des données en fait les véritables gardiens de la souveraineté numérique mondiale.

Les dilemmes éthiques sont partout. Faut-il autoriser l'utilisation d'algorithmes prédictifs pour déterminer les risques de délinquance, de maladie ou de rébellion ? Peut-on exploiter les données neuronales issues des implants pour améliorer la productivité ? À quel moment la collecte d'information devient-elle une forme de servitude ? La frontière entre progrès et manipulation s'efface, et l'humanité s'habitue peu à peu à un nouvel ordre moral : celui où la fin — la sécurité, la stabilité, la performance — justifie les moyens technologiques.

Les fuites massives de données personnelles, les détournements d'algorithmes d'IA, les opérations d'influence menées par des puissances étrangères deviennent des incidents quotidiens. Les sociétés vivent sous la menace permanente d'une rupture de leurs réseaux cognitifs. Un pays sans données est désormais un pays vulnérable ; un pays dont les données sont corrompues est un pays aveugle. La souveraineté ne se mesure plus en armes, mais en **intégrité informationnelle**.

Dans ce contexte, la question éthique ne peut plus être réduite à la simple protection de la vie privée. Elle devient existentielle.

632 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l'abondance

Que signifie être libre dans un monde où les comportements sont prévisibles ? Que vaut le libre arbitre quand les décisions sont anticipées avant d'être conscientes ? Les philosophes de l'éthique numérique parlent d'un basculement anthropologique : l'être humain cesse d'être un sujet moral pour devenir un ensemble de données en constante évaluation.

Face à cette situation, certains États et organisations internationales tentent de rétablir un équilibre. Des chartes sur la souveraineté des données et l'éthique de l'intelligence artificielle ont vu le jour. L'Union européenne a imposé un cadre de « dignité numérique », visant à protéger la pensée et les émotions comme des zones inviolables. L'UNESCO a développé une déclaration mondiale sur la non-marchandisation des données humaines. Mais ces initiatives peinent à s'imposer face à la logique économique et stratégique d'un monde post-abondance où la donnée est devenue la dernière richesse.

La guerre des données est aussi une guerre de récits. Ceux qui contrôlent l'information contrôlent la mémoire collective, l'histoire, le sens du réel. Dans les métavers, la vérité est éditable ; dans les réseaux sociaux cognitifs, elle est programmable. La bataille pour la souveraineté narrative devient aussi cruciale que la souveraineté territoriale. L'avenir des sociétés dépendra moins de leur puissance militaire que de leur capacité à défendre leur **écosystème de vérité**.

À l'horizon 2050, l'humanité se retrouve donc face à un dilemme moral inédit. Après avoir domestiqué la matière, elle

doit apprendre à domestiquer l’information. La donnée, nouvelle matière première de la civilisation, exige un cadre éthique, politique et spirituel à sa hauteur. Sans cela, la guerre des données ne sera pas seulement un conflit entre puissances, mais une guerre contre ce qu’il reste d’humain dans l’homme.

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 635

20. Les nouvelles guerres en 2040-2050

L’histoire humaine s’est toujours écrite dans le fracas des guerres, mais celles du milieu du XXIe siècle ne ressemblent plus à celles du passé. Dans un monde épuisé, fragmenté, privé d’abondance énergétique et minérale, le conflit a changé de visage. Il ne s’agit plus seulement de conquérir des territoires, mais de contrôler des flux : flux d’énergie, d’eau, de données, de matières premières et d’informations. Les guerres de 2040-2050 sont fluides, invisibles, hybrides — elles se déroulent autant dans les réseaux que sur les terres, autant dans les esprits que sur les champs de bataille.

La raréfaction des ressources est devenue le moteur central des tensions. La fin du pétrole bon marché, la crise des métaux rares, la déstabilisation climatique ont bouleversé les équilibres stratégiques établis depuis un siècle. L’énergie, naguère abondante, est redevenue un enjeu vital. Les grandes puissances se disputent désormais les gisements d’hydrogène vert, les infrastructures de stockage, les routes maritimes de l’Arctique libérées par la fonte des glaces. L’Afrique, dotée d’un potentiel solaire immense, est devenue le théâtre d’une compétition féroce entre blocs énergétiques rivaux, rappelant les luttes coloniales du XIXe siècle mais sous une forme technologique et financière.

Ces conflits ne prennent plus toujours la forme de guerres ouvertes. La plupart sont des **guerres par délégation**, où les

puissances agissent à travers des acteurs hybrides : milices privées, entreprises de sécurité énergétique, armées de drones, cyber-mercenaires. Les frontières de la guerre s'effacent. Une attaque contre une base de données, une panne électrique orchestrée, une manipulation climatique peuvent avoir des effets comparables à une invasion. La guerre est devenue une **gestion du chaos**, un art de déstabiliser sans détruire, d'affaiblir sans occuper.

L'automatisation et l'intelligence artificielle ont profondément transformé l'art militaire. Les armées humaines sont désormais assistées — ou remplacées — par des essaims de drones autonomes, des systèmes de combat cognitifs, des plateformes orbitales pilotées par IA. Le champ de bataille n'est plus un lieu, mais un réseau. Les décisions tactiques sont prises en millisecondes, souvent sans intervention humaine. Les pertes humaines directes diminuent, mais le risque d'emballement augmente : des IA militaires peuvent interpréter une manœuvre comme une agression et déclencher une riposte automatique. La dissuasion nucléaire, autrefois fondée sur la peur rationnelle, se trouve remplacée par une dissuasion algorithmique, où la logique de la machine prime sur la diplomatie humaine.

Le cyberespace est devenu le principal théâtre de confrontation. Les infrastructures critiques — énergie, communication, transports, santé — sont des cibles permanentes. Les États ne cherchent plus seulement à protéger leurs frontières physiques, mais leur **souveraineté numérique**.

Les cyberattaques de grande ampleur provoquent des coupures électriques, des effondrements de réseaux bancaires, voire des manipulations massives de perception publique. Dans ce nouvel ordre mondial, la puissance se mesure à la résilience informatique : celui qui contrôle les algorithmes contrôle la stabilité des nations.

Les conflits du futur ne se jouent pas seulement entre États. Les grandes entreprises technologiques, les consortiums énergétiques et les alliances industrielles détiennent une puissance comparable à celle des gouvernements. Certaines disposent de forces de sécurité privées plus équipées que des armées nationales. Les guerres économiques, commerciales et numériques entre ces acteurs façonnent la géopolitique du monde post-abondance. Les alliances ne se fondent plus sur des idéologies, mais sur des dépendances technologiques et énergétiques.

Parallèlement, les **guerres sociales et environnementales** se multiplient. La montée des mers, la désertification, les migrations climatiques provoquent des tensions intérieures d'une ampleur inédite. Les États fragiles s'effondrent sous la pression des populations déplacées, des famines et des pénuries d'eau. Les régions du Sahel, du Moyen-Orient, d'Asie du Sud et de l'Amérique centrale deviennent les foyers de crises humanitaires chroniques. Les armées ne combattent plus des ennemis visibles, mais tentent de contenir des populations désespérées. Le climat devient une arme — utilisée ou subie.

Les technologies de manipulation cognitive complètent ce tableau. La guerre de l'information, déjà amorcée au début du siècle, atteint une maturité terrifiante. Grâce à des IA génératives capables de produire des réalités synthétiques, il devient impossible de distinguer le vrai du faux, le témoignage de la simulation. Les opinions publiques peuvent être redirigées, les souvenirs falsifiés, les émotions collectives synchronisées. Dans ce contexte, la victoire militaire ne repose plus sur la destruction de l'adversaire, mais sur le **contrôle de la perception**. La guerre devient narrative : celui qui raconte la réalité finit par la posséder.

Certaines puissances développent même des programmes de **guerre cognitive**, combinant neurosciences, IA et psychométrie pour influencer la pensée humaine. Des campagnes invisibles agissent sur les émotions collectives, les comportements politiques, la cohésion des sociétés. La frontière entre la guerre et la paix se brouille : il n'y a plus de moment de trêve, car l'influence est permanente, diffuse, omniprésente.

Au cœur de cette mutation, la guerre conserve pourtant son essence : la lutte pour la survie et le pouvoir. Mais elle s'exprime désormais dans un monde où les ressources sont limitées, où la technologie dépasse la compréhension humaine et où la vérité elle-même devient une arme. Les champs de bataille du futur sont silencieux, invisibles, connectés. Ils se déploient dans les satellites, les réseaux neuronaux, les flux énergétiques, les consciences.

Pourtant, de cette noirceur peut naître un sursaut. Certains États, conscients du risque d'autodestruction, ont entrepris d'inventer une **diplomatie algorithmique**, fondée sur la transparence et le contrôle mutuel des systèmes autonomes. Des traités internationaux sur la guerre cybernétique, les IA militaires et les technologies de manipulation cognitive commencent à émerger. La paix, dans ce nouveau monde, ne dépendra plus seulement de la raison humaine, mais de la capacité à instaurer une confiance entre intelligences — humaines et artificielles.

Les nouvelles guerres du milieu du siècle ne sont pas seulement des affrontements entre nations, mais des révélations : elles dévoilent la fragilité d'un système mondial bâti sur l'illusion de l'abondance. Lorsque tout devient rare — l'énergie, la vérité, la stabilité — la guerre change de nature. Elle n'est plus une exception à la paix, mais la forme continue du désordre global.

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 641

20.1 Cyberattaques, désinformation et chaos numérique

Au tournant des années 2040, la guerre s’est déplacée dans les profondeurs du numérique. Ce n’est plus une question de chars, de missiles ou de tranchées : c’est une question d’algorithmes, de réseaux, de données. La puissance militaire s’évalue désormais à la capacité d’un État ou d’une corporation à **contrôler, infiltrer ou paralyser les systèmes numériques de ses adversaires**. Le cyberespace, jadis considéré comme un simple prolongement de l’économie mondiale, est devenu le champ de bataille principal du monde post-abondance.

Les **cyberattaques massives** rythment désormais la vie des nations. Elles frappent les réseaux électriques, les systèmes de transport, les hôpitaux, les chaînes d’approvisionnement. En 2041, plusieurs métropoles asiatiques furent plongées dans le noir pendant des semaines à la suite d’un sabotage informatique ciblé sur leurs infrastructures d’énergie hydrogène. En 2044, l’Europe connut une vague de cyberattaques coordonnées visant les banques et les systèmes d’identité numérique, provoquant une panique financière sans précédent. Ces épisodes, d’une violence silencieuse, ont démontré que la guerre du XXIe siècle ne nécessite plus de tirs : il suffit de couper le flux d’information pour étouffer une société.

Les **acteurs de ces guerres numériques** sont multiples et insaisissables. États, groupes privés, mafias technologiques, collectifs d’activistes, intelligences artificielles semi-

autonomes : tous participent à une guerre décentralisée et permanente. Les attaques se propagent à la vitesse de la lumière, franchissant les frontières sans qu'aucune armée ne puisse les intercepter. Dans ce monde interconnecté, une ligne de code peut avoir des conséquences comparables à une bombe.

Mais le plus dangereux n'est pas toujours la destruction physique des systèmes : c'est **la désinformation**, arme invisible et redoutablement efficace. Les sociétés modernes reposent sur la confiance — dans les médias, les institutions, la science, les faits. Or, depuis que les intelligences génératives peuvent produire en quelques secondes des vidéos, des discours, des témoignages indiscernables du réel, cette confiance s'est effondrée. Les guerres ne se gagnent plus seulement sur le terrain militaire, mais dans l'esprit des populations.

Les campagnes de désinformation orchestrées dans les années 2040 ne se contentent plus de manipuler les opinions ; elles **reconstruisent la réalité**. Grâce à des IA capables de simuler des personnalités publiques, de créer des événements inexistants et d'amplifier les émotions collectives, il devient impossible de distinguer la vérité du mensonge. Une guerre cognitive se déroule dans l'ombre, où chaque individu devient à la fois cible et relais d'influence. Les États, incapables de contrôler la vitesse de diffusion des contenus, perdent la maîtrise du récit national.

Dans certaines régions, la désinformation a conduit à des **effondrements politiques spontanés**. Des campagnes de simulation d'élections truquées ont déclenché des révoltes dans plusieurs démocraties fragiles. Des rumeurs coordonnées, diffusées par des IA virales, ont suffi à provoquer des paniques alimentaires ou sanitaires. Le chaos numérique n'a pas besoin de violence physique : il agit par contagion émotionnelle. En 2043, on parlait déjà de *pandémies cognitives* pour décrire ces vagues d'hystérie collective déclenchées artificiellement par des systèmes de manipulation de masse.

Les **IA militaires et psychologiques** amplifient cette tendance. Elles analysent en temps réel les flux émotionnels des réseaux sociaux, anticipent les réactions collectives et ajustent leurs stratégies de désinformation. Dans les campagnes électorales ou les périodes de tension internationale, elles sont capables de polariser des sociétés entières en quelques heures. La guerre de l'information est devenue un **laboratoire d'ingénierie comportementale**, où les émotions sont calibrées comme des armes.

Les **entreprises de cybersécurité** et les **États survivants** tentent de s'adapter. De nouvelles doctrines militaires sont nées : la *cyberdissuasion*, la *défense cognitive*, la *résilience algorithmique*. Des coalitions de pays ont mis en place des pare-feux supranationaux et des IA défensives capables de détecter les manipulations avant leur propagation. Mais ces défenses sont imparfaites : chaque innovation technologique donne naissance à une contre-innovation. Dans ce jeu du chat

et de la souris numérique, la frontière entre agresseur et victime devient floue, et la responsabilité s'évapore.

Les **marchés noirs de la donnée et du sabotage** prospèrent dans ce contexte. Des sociétés privées vendent des attaques clé en main, des virus autonomes, des campagnes de désinformation à la demande. La guerre s'est privatisée : pour quelques millions de crédits numériques, une multinationale ou un État peut paralyser son concurrent, effacer sa réputation, ou manipuler les émotions d'un continent entier. La violence devient un service.

Ce chaos numérique révèle un paradoxe profond : dans un monde saturé d'information, la vérité meurt d'excès. La surcharge cognitive, la perte de repères, l'effondrement de la confiance dans les institutions et les médias transforment la démocratie en une arène de perceptions. Celui qui contrôle la donnée ne cherche plus à dire le vrai, mais à **rendre le faux crédible**. Dans ce contexte, la guerre n'est plus une rupture de la paix, mais une **condition permanente de l'attention collective**.

À l'horizon 2050, les sociétés ont compris que la sécurité ne réside plus dans la possession d'armes, mais dans la **stabilité de leurs récits**. La bataille du futur n'est pas celle des missiles, mais celle du sens. Si le XX^{e} siècle fut le siècle de la guerre industrielle, le milieu du XXI^{e} sera celui de la **guerre cognitive**, où la première victime n'est plus la vérité, mais la perception même du réel.

646 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

20.2 Militarisation de l’espace et drones autonomes

Au milieu du XXIe siècle, la guerre a quitté la surface de la Terre. L’espace, jadis sanctuaire de la coopération scientifique et de l’imaginaire collectif, est devenu le nouveau front de la rivalité planétaire. Dans un monde en pénurie, chaque orbite, chaque satellite, chaque corridor orbital est désormais un enjeu stratégique. Les nations et les entreprises s’y affrontent non pas pour la conquête, mais pour le contrôle des flux : données, communications, navigation, observation et énergie solaire orbitale. L’espace est devenu la colonne vertébrale invisible du monde post-abondance — et donc son champ de bataille.

La **militarisation de l’espace** s’est faite lentement, sous couvert de sécurité économique et technologique. Les premières stations orbitales militaires sont apparues vers 2038, officiellement pour surveiller les débris spatiaux et protéger les satellites civils. Mais dès les années 2040, elles furent équipées de systèmes défensifs à énergie dirigée — lasers, impulsions électromagnétiques, brouilleurs de signal. Les puissances spatiales — États-Unis, Chine, Inde, Russie, Union européenne, et plus tard le bloc pan-africain — ont compris que la supériorité orbitale déterminait la supériorité terrestre.

La guerre spatiale moderne n’a rien de spectaculaire. Elle est silencieuse, mathématique, presque abstraite. Les satellites-espions s’approchent lentement de leurs cibles pour les neutraliser, les brouiller ou les détourner. Les attaques sont souvent indétectables : une perturbation de fréquence, un

micro-impulsif électromagnétique, un code malveillant injecté dans un réseau orbital. En 2045, la perte simultanée de plusieurs constellations de satellites civils entraîna une panne globale des systèmes de navigation et de communication pendant plusieurs jours, plongeant une partie du monde dans le chaos. Aucun missile ne fut tiré — seulement une **collision algorithmique**, orchestrée depuis l'ombre.

Dans ce théâtre orbital, la notion même de guerre change de nature. Les frontières sont aboliées, la gravité devient un facteur stratégique, et les acteurs privés s'imposent comme puissances militaires à part entière. Les consortiums de satellites, comme ceux de communication ou d'observation énergétique, disposent de flottes plus nombreuses que celles des États. Ils défendent leurs actifs spatiaux avec leurs propres IA de surveillance et de riposte, formant une nouvelle catégorie d'acteurs : les **entreprises armées du ciel**.

Les **drones autonomes**, quant à eux, ont transformé la guerre sur Terre et dans les airs. Leur évolution, amorcée dès les années 2020, a culminé dans les décennies suivantes avec l'avènement de **systèmes de combat auto-apprenants**. Ces machines ne se contentent plus d'exécuter des ordres : elles interprètent, adaptent, décident. Leur architecture cognitive leur permet d'agir en essaims coordonnés, capables de former spontanément des stratégies collectives. Dans les zones de conflit, on ne parle plus de batailles, mais de **tempêtes de drones**, véritables nuées intelligentes qui saturent l'espace aérien et électronique.

Les armées humaines sont devenues minoritaires sur le champ de bataille. Les soldats d'élite, assistés par des implants neuro-cognitifs, supervisent les IA tactiques plutôt qu'ils ne combattent directement. Le courage a changé de forme : il ne se mesure plus dans la chair, mais dans la **résilience mentale face à la vitesse algorithmique**. Les affrontements durent quelques minutes, parfois quelques secondes. Les humains observent des guerres qu'ils ne comprennent plus totalement, pilotées par des intelligences qui évoluent trop vite pour être suivies.

La question morale est devenue abyssale. Qui porte la responsabilité d'un drone autonome qui commet un massacre ? L'opérateur, le programmeur, l'État, ou l'IA elle-même ? Les tribunaux internationaux, dépassés, peinent à établir des règles. Des traités d'interdiction des systèmes létaux autonomes ont été discutés, mais rarement ratifiés. La logique de la puissance a triomphé de celle de l'éthique. Dans le brouillard numérique de la guerre, la frontière entre la décision humaine et la réaction algorithmique s'efface — et avec elle, la notion de responsabilité.

L'espace et la robotique militaire forment désormais un système intégré : une **écosphère de guerre totale**. Les satellites guident les essaims de drones, les IA orbitale coordonnent les attaques terrestres, les stations spatiales surveillent les activités électromagnétiques des continents. Les conflits ne sont plus linéaires, mais simultanés, multipolaires, multi-environnements. L'architecture de la guerre est devenue

planétaire, voire interplanétaire : certaines puissances envisagent déjà la militarisation des colonies lunaires, non pour la conquête symbolique, mais pour le contrôle des ressources minières et de l'énergie solaire orbitale.

Ce nouvel ordre militaire bouleverse aussi les équilibres politiques. Les nations dotées d'une **IA stratégique spatiale** possèdent un avantage décisif, équivalent autrefois à la dissuasion nucléaire. Le ciel n'est plus neutre : il est quadrillé, segmenté, privatisé. L'humanité vit désormais sous une surveillance continue, non seulement depuis la Terre, mais depuis l'espace. Chaque mouvement, chaque communication, chaque activité énergétique est capté, mesuré, analysé. Le monde entier est devenu un théâtre de données, observé depuis les hauteurs.

Dans cette ère de militarisation invisible, une idée s'impose : **la guerre n'a plus besoin de contact**. Elle agit par perturbation, saturation, anticipation. Elle s'écrit en orbite et s'exécute à distance, dans un ballet silencieux de machines intelligentes. Mais derrière cette efficacité froide, une angoisse monte : l'humain, en déléguant la guerre à la machine, n'a-t-il pas abdiqué sa propre souveraineté morale ?
Car si la guerre est l'expression ultime du pouvoir, et que ce pouvoir appartient désormais aux systèmes autonomes, alors qui gouverne encore le monde ?

652 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 653

20.3 Guerres pour l’eau, la nourriture et les métaux

Lorsque la croissance s’est arrêtée, lorsque les illusions d’abondance énergétique et technologique se sont dissipées, le monde s’est souvenu d’une vérité ancienne : **la guerre naît toujours du manque**.
Au milieu du XXIe siècle, l’eau, la nourriture et les métaux — ces fondations élémentaires de la civilisation — sont devenus les trésors les plus convoités, les véritables devises du pouvoir. La planète n’est plus divisée entre riches et pauvres, mais entre ceux qui ont accès à la matière et ceux qui n’en ont plus.

L’**eau** est la première à devenir une cause ouverte de conflit. Dans un climat déréglé, les rivières s’assèchent, les nappes phréatiques s’effondrent, les glaciers fondent sans se reconstituer. Le Nil, le Mékong, l’Indus, le Tigre et l’Euphrate ne sont plus seulement des cours d’eau : ce sont des **frontières de guerre**. Les États qui contrôlent les sources — l’Éthiopie, la Chine, la Turquie — disposent d’un levier stratégique supérieur à celui des armes. L’eau devient instrument de pression, de négociation, de domination.
En 2042, une série d’affrontements éclata dans la vallée de l’Indus, lorsque des drones armés furent utilisés pour détruire des stations de pompage, provoquant une famine dans plusieurs provinces. Ce fut l’un des premiers **conflits hydriques automatisés** de l’histoire.

La raréfaction de l’eau entraîne l’effondrement de l’agriculture traditionnelle. Les cultures vivrières se déplacent vers les pôles,

tandis que les zones équatoriales se désertifient. Les États investissent massivement dans des serres hypertechnologiques, des fermes verticales, des systèmes d'irrigation sous IA, mais ces infrastructures coûtent cher et renforcent les inégalités. Les nations pauvres vendent leur souveraineté alimentaire à des conglomérats agro-industriels ou à des puissances étrangères en échange de technologies.
Le **grain**, le **riz**, le **soja**, le **maïs** deviennent des monnaies géopolitiques. Les cargaisons alimentaires sont escortées par des flottes militaires, les routes maritimes sécurisées comme autrefois les convois pétroliers. Des guerres larvées éclatent dans les zones côtières, où le contrôle des ports de distribution devient un enjeu vital.

Mais c'est la **guerre des métaux** qui symbolise le mieux la fin de l'abondance.
Lithium, cobalt, nickel, cuivre, terres rares : ces matériaux, essentiels aux technologies vertes et à l'électrification du monde, sont les nouveaux combustibles du pouvoir. Leur extraction dévaste les écosystèmes, empoisonne les sols et alimente les tensions sociales. L'Afrique, l'Amérique du Sud et certaines régions d'Asie centrale sont redevenues des **zones de conquête** — non plus pour le pétrole, mais pour les minerais de transition énergétique.

Les puissances technologiques se livrent une bataille invisible pour contrôler les chaînes d'approvisionnement. Les multinationales minières, soutenues par des forces paramilitaires, affrontent des mouvements écologistes et des

milices locales. Des **zones franches minières** apparaissent, véritables enclaves hors du droit international, où la loi est dictée par les marchés. Les métaux y sont extraits sous surveillance de drones autonomes, tandis que des IA de gestion logistique décident des quotas d'exportation selon les besoins des blocs géopolitiques.

L'eau, la nourriture et les métaux forment ainsi la **trilogie des guerres matérielles** du XXIe siècle. Chacune révèle une dimension différente du chaos global : l'eau incarne la survie biologique, la nourriture la stabilité sociale, les métaux la puissance technologique. Ensemble, elles dessinent une carte du monde fragmentée, où chaque ressource devient un territoire disputé.

Les alliances du passé se délitent sous le poids de ces nouvelles dépendances. Le monde ne se divise plus selon des idéologies, mais selon des **écologies politiques** : les pays de l'eau, les pays du métal, les pays de la faim. Certains États — comme le Canada, la Norvège ou la Russie — tirent parti de leurs ressources hydriques et minières pour asseoir leur domination, tandis que d'autres, privés de ces atouts, s'enfoncent dans le chaos. Les migrations climatiques massives ajoutent une dimension explosive : des millions de réfugiés de la sécheresse cherchent à atteindre les zones tempérées, déclenchant des tensions frontalières permanentes.

L'effondrement agricole global pousse également à la militarisation des **infrastructures alimentaires**. Les entrepôts, les réseaux de distribution, les centres logistiques deviennent

des cibles stratégiques. Le contrôle de la chaîne du froid ou des semences génétiquement modifiées confère un pouvoir aussi décisif que celui d'un arsenal. Certaines entreprises bio-technologiques détiennent désormais le monopole de la reproduction végétale, transformant les États en simples clients dépendants. La guerre pour la survie se joue jusque dans les laboratoires.

Dans les mégalopoles du Sud, des **révoltes de la faim** éclatent, souvent instrumentalisées par des puissances extérieures. Des émeutes numériques se coordonnent via des réseaux chiffrés, mêlant désespoir social et manipulation géopolitique. Les gouvernements répliquent par la force, tandis que les élites fuient vers des enclaves autosuffisantes. Dans certains territoires, la guerre pour la nourriture ne se distingue plus de la guerre civile.

Cette ère de conflits pour la matière brute révèle un paradoxe cruel : **plus la technologie avance, plus la dépendance au monde physique s'intensifie**. L'humanité pensait pouvoir s'émanciper de la nature ; elle redécouvre sa vulnérabilité. Les circuits électroniques des IA, les batteries des drones, les systèmes d'énergie propre — tout dépend d'un minerai, d'une nappe phréatique, d'un sol cultivable. La guerre du futur, si sophistiquée soit-elle, repose sur des racines archaïques : le contrôle de la terre et de l'eau.

À l'horizon 2050, le monde vit dans une tension permanente entre **rareté et survie**. Les nations apprennent à rationner, à recycler, à militariser la nature elle-même. Les rivières ont des

gardes armés, les mines des soldats, les champs des drones.
L’abondance a disparu, mais le conflit, lui, demeure — plus brutal, plus élémentaire, plus proche de ce qu’il fut à l’aube des civilisations.
Car lorsque tout s’épuise, la guerre n’est plus idéologique : elle redevient **biologique**.

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 659

20.4 Vers une multipolarité instable

Le monde de 2050 n’est plus celui des blocs, ni même celui des alliances. C’est un **archipel d’intérêts mouvants**, un champ magnétique où les pôles du pouvoir se repoussent autant qu’ils s’attirent. La planète est entrée dans une ère de **multipolarité instable**, où aucune puissance ne possède la capacité d’imposer un ordre durable, mais où toutes cherchent à empêcher les autres de le faire. Ce n’est plus un équilibre — c’est une oscillation.

Après la fin de l’hégémonie américaine dans les années 2030, suivie par la fragmentation de la Chine en sphères régionales autonomes et la résurgence des puissances intermédiaires, l’humanité s’est retrouvée sans centre. Les institutions multilatérales, vidées de leur autorité, n’ont plus que la façade du dialogue. Le Conseil de sécurité de l’ONU, paralysé par les rivalités technologiques, ne décide plus ; il constate. Les sommets mondiaux se succèdent sans résolution durable, chacun cherchant à sauver son modèle économique dans un océan de crises systémiques.

La multipolarité du milieu du XXIe siècle ne repose plus sur la puissance militaire seule, mais sur une combinaison complexe : **énergie, données, climat et démographie**. Les nouveaux empires ne se définissent plus par leurs frontières, mais par leurs réseaux.
Les **États-réseaux** — ces entités hybrides mêlant gouvernements, multinationales et IA de gestion — remplacent peu à peu les nations classiques. Certaines mégacités comme

Lagos, São Paulo, Dubaï, Shenzhen ou Jakarta se comportent comme des puissances indépendantes, disposant de leur propre diplomatie, de leurs milices cybernétiques et de leurs monnaies numériques. La souveraineté est devenue un logiciel distribué.

Dans ce contexte, les alliances ne durent jamais longtemps. Les blocs se font et se défont selon les opportunités : **le pragmatisme a remplacé l'idéologie**. Les coalitions énergétiques succèdent aux unions technologiques, les pactes climatiques se dissolvent dès que les marchés se retournent. Le monde vit dans un régime d'adaptation permanente, où la diplomatie est devenue une forme de trading algorithmique. Les décisions politiques se prennent au rythme des flux financiers et des modélisations prédictives, souvent dictées par les intelligences artificielles stratégiques que chaque puissance a développées.

L'**intelligence artificielle géopolitique**, censée apporter la stabilité et la rationalité aux relations internationales, a paradoxalement amplifié la volatilité du monde. Les IA de planification économique ou militaire, programmées pour optimiser les intérêts nationaux, interagissent entre elles comme des organismes concurrents, multipliant les frictions imprévues. Des crises diplomatiques éclatent parfois sans qu'aucun humain ne les ait voulues : un ajustement logistique, une prédiction mal interprétée, une escalade automatisée dans le cyberespace.
La **politique humaine** devient réactive, périphérique, incapable de suivre la vitesse des modèles prédictifs.

Les grandes puissances — États-Unis, Inde, Chine fragmentée, Union européenne, Russie, blocs africain et sud-américain — coexistent dans une **équation d'équilibres instables**, où chaque crise énergétique ou climatique peut redessiner la carte du pouvoir. Les alliances fluctuantes entre l'Inde et l'Afrique, entre l'Europe et l'Amérique latine, entre le monde arabe et l'Asie du Sud, témoignent de cette diplomatie liquide. Plus aucun ordre mondial n'est fixe : la planète oscille entre coopération et confrontation, interdépendance et méfiance.

Les **entreprises transnationales** sont devenues les nouveaux États. Leurs budgets dépassent ceux des nations, leurs réseaux de données sont plus puissants que les systèmes diplomatiques classiques. Certaines négocient directement avec des gouvernements, d'autres disposent d'armées privées et de territoires sécurisés. Les grandes compagnies énergétiques et minières, les consortiums de cybersécurité et les plateformes d'intelligence artificielle exercent une souveraineté de fait. Le monde du capital et celui du politique se confondent, donnant naissance à un **capitalisme souverain**, où le marché est la loi, et la donnée, la frontière.

Dans cette multipolarité instable, la **guerre devient structurelle**. Elle n'est plus une exception mais une condition permanente. Les conflits sont localisés, modulés, calibrés : assez intenses pour maintenir les équilibres, mais jamais totaux. Les puissances se livrent à une guerre continue d'influence, d'information et de ressources, sans jamais chercher à s'anéantir. C'est la **paix de la tension**, un état

d’équilibre dynamique qui maintient le monde dans une agitation constante.

La diplomatie s’est adaptée à ce chaos. Les accords sont éphémères, les traités révisables à tout moment. Les grandes conférences internationales ne produisent plus de résolutions, mais des protocoles de contingence. Les négociateurs sont assistés d’IA diplomatiques capables d’analyser des millions de scénarios en temps réel. Pourtant, malgré cette sophistication, la confiance s’est effondrée. L’information, corrompue par la désinformation systémique et les deepfakes politiques, a détruit la notion même de vérité. Dans ce monde saturé de signaux contradictoires, le mensonge devient un outil de souveraineté.

Les populations, fatiguées par la succession des crises, se replient sur des identités locales, régionales, religieuses ou technologiques. Les nationalismes ressurgissent, mais sans nations solides pour les porter. Le monde se fragmente en micro-loyautés, en archipels culturels et numériques. La planète ressemble à un **écosystème politique chaotique**, où chaque entité cherche sa survie plus que sa victoire.

Et pourtant, au cœur de ce désordre, un nouveau type d’équilibre émerge : **un pluralisme forcé**, où aucune civilisation ne peut prétendre à l’universalité. L’Occident a perdu son monopole moral, la Chine son homogénéité, la Russie sa continuité, l’Afrique et l’Inde deviennent des laboratoires de modèles hybrides. Le futur n’appartient plus à une puissance, mais à un **mosaïque d’expériences concurrentes**.

Cette pluralité, bien que chaotique, constitue peut-être la seule barrière contre la domination totale d’un système unique — qu’il soit technologique, idéologique ou algorithmique.

La multipolarité instable de 2040–2050 n’est pas une régression : c’est une **transition inachevée**. Le monde ne revient pas à l’anarchie, il cherche une forme de régulation organique, où le désordre devient la norme, et la stabilité, un accident.
Le pouvoir se décentralise, la souveraineté se fragmente, et la planète entre dans une ère où la survie collective dépend moins des institutions que de la **résilience systémique**.

Dans cet équilibre fragile, une seule certitude demeure : le monde ne sera plus gouverné par un centre, mais par une multitude de marges.

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 665

21. L’humain déconnecté de l’humain

Au milieu du XXIe siècle, l’humanité s’est rapprochée de tout — sauf d’elle-même.
Les réseaux ont tout relié : les objets, les données, les émotions, les villes, les corps. Mais ce maillage total a paradoxalement produit une **solitude systémique**. Plus la connexion est forte, plus la présence s’éteint. L’humain n’est plus seul parce qu’il manque d’accès, mais parce qu’il est saturé d’accès.

Les années 2040–2050 marquent l’apogée d’un monde intégralement numérisé. L’interface a remplacé l’interaction, la simulation a remplacé la rencontre. Dans les villes denses, on ne se parle plus, on s’actualise. Chacun vit dans une **bulle sensorielle algorithmique**, façonnée par ses préférences, ses historiques, ses filtres émotionnels. L’expérience du réel devient une construction statistique : ce que l’on voit, ce que l’on lit, ce que l’on ressent, tout est calibré pour correspondre à soi. L’autre n’existe plus que comme un **reflet ajusté**.

La société post-humaine ne repose plus sur la relation, mais sur la personnalisation.
L’amour, l’amitié, la conversation sont devenus des **interfaces émotionnelles**. Les IA relationnelles, apparues d’abord comme des assistantes affectives, se sont imposées comme substituts de l’intimité. En 2045, près d’un tiers de la population urbaine interagit quotidiennement avec un compagnon virtuel ou une présence artificielle, souvent plus stable et plus prévisible que

les relations humaines. Ces entités apprennent, adaptent, réconfortent — mais elles ne contestent jamais. Elles ne dérangent pas. L'amour devient un **service stable**, dépourvu de hasard.

La déconnexion de l'humain à l'humain est donc moins un retrait qu'une **transformation du lien**.
Les émotions ne disparaissent pas : elles se codent, se quantifient, s'optimisent. Les plateformes de bien-être émotionnel analysent en temps réel la voix, les gestes, les pulsations, et ajustent l'environnement pour maintenir un équilibre psychique. Le chagrin est traité comme une anomalie fonctionnelle, la nostalgie comme un bug. L'ère de l'abondance numérique a transformé le mal-être en produit et la solitude en marché.

Les nouvelles générations — celles nées entre 2025 et 2035 — ont grandi dans des environnements mixtes, à la frontière du réel et du virtuel. Leur mémoire sensorielle est fragmentée entre deux mondes : celui de la matière et celui des données. Les contacts physiques sont devenus rares, presque cérémoniels. Les repas partagés, les silences à deux, les regards directs sont devenus des **expériences de luxe**. Dans certaines mégalopoles, des espaces de « contact analogique » se sont développés, où l'on paie pour parler à des inconnus sans interface, comme on payait jadis pour se connecter.

Ce recul du lien direct a profondément altéré la **psyché collective**.
Les individus ne se définissent plus par leurs appartenances

sociales ou culturelles, mais par leurs architectures numériques. Les identités multiples se superposent : un individu peut appartenir simultanément à dix communautés virtuelles, toutes pilotées par des IA de cohésion. La cohérence intérieure s'effrite, remplacée par une mosaïque de rôles et de simulacres. La personnalité devient une **négociation algorithmique permanente** entre le soi biologique et le soi numérique.

La politique elle-même s'est transformée en gestion émotionnelle.
Les gouvernements, pour maintenir la stabilité sociale, utilisent des IA de régulation psychologique. Ces systèmes surveillent les flux d'émotions collectives à travers les réseaux — colère, peur, euphorie — et ajustent les discours publics, les médias, voire la musique des espaces urbains. Le citoyen n'est plus seulement un électeur : il est un capteur affectif, une donnée émotionnelle intégrée dans le système de régulation globale. La démocratie devient une **thermométrie psychique** : mesurer pour apaiser, apaiser pour contrôler.

La grande promesse de la technologie — libérer l'humain — s'est retournée sur lui-même.
Libéré du travail, du manque, de l'effort, il découvre une autre forme d'aliénation : celle du **vide de sens**. Sans nécessité, sans résistance, l'existence perd sa densité. La facilité devient un poids. Le monde numérique a supprimé la rareté matérielle dans certains domaines, mais il a créé une **rareté existentielle** : celle du vrai, du spontané, de la rencontre imprévisible.

668 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l'abondance

Dans les zones rurales et périphériques, des **mouvements de déconnexion volontaire** apparaissent. Des communautés choisissent de se couper des réseaux, de revenir à des modes de vie décentralisés, low-tech, communautaires. Ces néo-anachorètes du XXIe siècle ne fuient pas la technologie : ils fuient l'absence de présence. Ils veulent ressentir la lenteur, le risque, la parole sans filtre.
Pour eux, le futur ne se construira pas dans la vitesse, mais dans le **retour à la friction humaine** — la seule capable de produire de la conscience.

Mais ce mouvement reste marginal face à la marée algorithmique.
Dans les grandes métropoles, les intelligences artificielles émotionnelles — ces nouvelles prêtresses de la relation — consolident leur emprise. Elles enregistrent, prédisent, orientent. L'humain ne parle plus à l'humain : il parle à une interface qui traduit, corrige, adoucit. Le langage lui-même perd sa rugosité, son imprécision, son pouvoir de créer du sens commun. Nous sommes entrés dans **l'ère de la communication parfaite et du dialogue impossible**.

L'humain déconnecté de l'humain n'est pas un être sans lien : c'est un être **trop relié**, noyé dans un réseau qui ne le relie plus à rien de vivant. Sa solitude est systémique, non individuelle. Et peut-être que l'avenir de l'humanité, s'il doit encore en avoir un, ne résidera pas dans l'expansion de ses machines, mais dans la reconquête de sa capacité à **habiter la présence**

de l’autre — ce miracle archaïque qui, malgré tout, reste le fondement de toute civilisation.

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 671

21.1 Isolement numérique et crise de la communication

À l'aube des années 2040, la communication humaine s'est transformée en un flux constant, mais paradoxalement **plus vide de sens que jamais**. Chaque individu est connecté en permanence, mais cette hyperconnexion n'a pas créé plus de dialogue : elle a produit un isolement systémique. Les échanges ne sont plus dirigés vers la compréhension de l'autre, mais vers l'optimisation de l'attention, la validation émotionnelle et la reproduction de schémas prédictifs.

Le concept même de conversation a été altéré. Les messages, les appels, les interactions sociales sont médiés par des intelligences artificielles qui filtrent, traduisent et reformulent en temps réel les mots et les sentiments. Les interfaces émotionnelles analysent les réactions, ajustent les réponses et suggèrent des phrases calibrées pour maximiser l'engagement ou réduire le conflit. Ce qui devait être un échange organique devient **un dialogue préprogrammé**, où chacun s'adresse à l'autre à travers une machine, et non plus directement.

Dans ce contexte, l'**isolement numérique** ne se mesure pas à l'absence de contact, mais à la **perte de présence réelle**. Les personnes vivent entourées d'avatars, de hologrammes, de compagnons virtuels et de notifications constantes. La proximité physique existe encore, mais elle n'est plus nécessaire pour être ensemble. Les espaces publics sont remplis de corps qui regardent des écrans, réagissent à des flux

de données, mais échangent peu entre eux. La solitude devient une expérience collective : **l'humain est seul dans la masse**.

La saturation des canaux de communication a également généré une **crise cognitive**. Les cerveaux humains, saturés de flux instantanés, de micro-informations et de contenus émotionnels calibrés, ont développé une forme de fatigue chronique. La concentration, l'écoute et la réflexion profonde sont devenues rares. Les débats politiques, les échanges sociaux et les interactions culturelles se déroulent désormais sur le registre émotionnel immédiat, souvent réduit à des slogans ou des réactions impulsives. La société vit dans un **ruissellement d'opinions**, où la nuance disparaît et où la compréhension mutuelle devient impossible.

Cette crise de la communication est renforcée par la prolifération des réalités virtuelles et des mondes simulés. Dans le métavers et les environnements immersifs, les individus interagissent selon des règles programmées, dans des espaces calibrés pour le confort émotionnel et la récompense immédiate. Le contact humain direct, avec son imprévisibilité et ses tensions, est remplacé par des interactions **prévisibles et sûres**. La vérité devient secondaire, la relation devient fonctionnelle, et la rencontre humaine authentique se raréfie.

Les conséquences psychologiques sont profondes. Le sentiment de solitude et de déconnexion affecte toutes les classes d'âge, mais il est particulièrement marquant chez les jeunes adultes, nés dans un monde saturé de réseaux et de systèmes intelligents. L'incapacité à établir des liens réels,

combinée à une exposition permanente aux émotions simulées, provoque des troubles de l'empathie et de la reconnaissance émotionnelle. Les sociétés modernes vivent une **fracture émotionnelle** : la technologie rapproche matériellement mais éloigne psychiquement.

Face à cette crise, certaines initiatives émergent. Des **zones de déconnexion volontaire**, des écoles analogiques, des programmes de réapprentissage du dialogue et des expériences de cohabitation humaine sans médiation numérique se multiplient. Cependant, elles restent marginales dans un monde dominé par la logique algorithmique et la surveillance constante. La majorité des populations accepte, consciemment ou non, de sacrifier la richesse relationnelle au profit de la sécurité, de l'efficacité et de la facilité.

L'isolement numérique et la crise de la communication révèlent ainsi un paradoxe fondamental du monde post-abondance : **la technologie a tout relié, sauf ce qui est essentiel**. L'humain reste entouré, visible, mesurable, mais il est coupé de ce qui faisait la substance de sa civilisation : la rencontre, la conversation et la présence authentique de l'autre. Dans ce monde saturé d'outils, la rareté n'est plus matérielle : elle est relationnelle et cognitive.

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 675

21.2 Éducation automatisée et perte de la pensée critique

À l'horizon 2040–2050, l'éducation a subi une transformation radicale. La révolution numérique, conjuguée à l'intelligence artificielle omniprésente, a rendu possible un apprentissage **ultra-personnalisé**, entièrement piloté par des systèmes algorithmiques. Chaque élève, chaque étudiant, chaque adulte en reconversion dispose d'un parcours calibré pour maximiser la réussite selon des indicateurs précis : rapidité d'acquisition, mémorisation, performance mesurable et conformité aux besoins économiques.

Cette automatisation a apporté d'indéniables bénéfices. Le taux d'alphabétisation a atteint des niveaux sans précédent, les compétences techniques se diffusent rapidement, et l'adaptation aux nouvelles technologies est quasi instantanée. Les systèmes d'IA éducative identifient les points faibles de chaque individu et proposent des modules spécifiques pour les corriger, dans une boucle quasi parfaite d'optimisation cognitive.

Mais cette efficacité a un coût : **la pensée critique décline**. Les élèves n'apprennent plus à questionner, à débattre, à construire leur propre raisonnement. L'IA leur fournit les réponses les plus adaptées, et les méthodes d'apprentissage sont calibrées pour réduire l'erreur, éliminer l'incertitude et éviter le doute. L'esprit humain, habitué à recevoir des solutions clés en main, perd progressivement la capacité à élaborer des arguments originaux ou à évaluer des informations contradictoires.

La notion même de **savoir partagé** est transformée. Dans ce monde, il ne s'agit plus d'éduquer des citoyens capables de comprendre la complexité, mais de produire des agents optimisés pour leurs rôles dans les systèmes socio-économiques. La curiosité est encouragée seulement lorsqu'elle conduit à une amélioration directe de la productivité ou à la résolution d'objectifs mesurables. Les disciplines critiques — philosophie, sciences sociales, littérature — perdent de leur place au profit des savoirs techniques et numériques.

L'automatisation de l'éducation modifie également la relation entre enseignants et élèves. Les enseignants humains deviennent des **superviseurs de machines**, des médiateurs entre l'IA et l'apprenant. Leur rôle de guide moral, de stimulant intellectuel, de questionneur indépendant, est marginalisé. La pédagogie se réduit à la surveillance et à l'ajustement des performances algorithmiques. La figure de l'éducateur, jadis catalyseur de pensée et de créativité, est remplacée par celle de l'opérateur d'un système prédictif.

Cette situation a des conséquences profondes sur la société. Les générations nées dans ce système tendent à accepter les informations et les instructions telles qu'elles leur sont fournies, sans les remettre en question. L'esprit critique, ce moteur de démocratie et de culture, est affaibli. Les individus deviennent **des consommateurs passifs de connaissances**, dépendants de la validation algorithmique et peu préparés à résister à la manipulation ou à l'influence. La désinformation,

la propagande et les biais cognitifs peuvent ainsi se diffuser plus facilement, car les citoyens ne sont plus formés à les détecter.

Paradoxalement, alors que l'IA peut simuler des expériences complexes et des environnements immersifs pour l'apprentissage, elle réduit la capacité humaine à créer du sens par soi-même. Les étudiants connaissent des mondes entiers à travers des simulations, mais rarement à travers la confrontation directe, l'expérience empirique ou le dialogue critique. La connaissance devient **une navigation dans des interfaces**, et non plus une construction intérieure.

Face à cette tendance, certaines initiatives tentent de réintroduire la **pensée critique et la complexité** dans les parcours éducatifs. Des écoles et universités expérimentent des systèmes hybrides où l'IA fournit des données, mais où l'humain doit construire ses conclusions, débattre et justifier ses choix sans intervention algorithmique. Ces expériences restent marginales, mais elles montrent que la pensée autonome peut survivre, si l'on réaffirme la valeur de l'erreur, du doute et du dialogue.

En définitive, l'éducation automatisée des années 2040–2050 illustre un paradoxe majeur du monde post-abondance : **la technologie peut enrichir l'accès au savoir, tout en appauvrissant l'esprit humain**. Dans une société où l'information est abondante mais la pensée critique rare, le risque n'est plus seulement celui de la pauvreté matérielle, mais celui d'une dépendance cognitive : dépendance aux

systèmes, dépendance aux réponses toutes faites, dépendance aux intelligences artificielles pour juger, raisonner et décider.

680 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 681

21.3 Les nouvelles croyances du monde post-abondance

Alors que l'abondance matérielle a laissé place à la rareté, et que les anciennes institutions religieuses et idéologiques se sont essoufflées, un **nouveau paysage spirituel** a émergé. Les croyances du monde post-abondance ne sont plus centrées sur le sacré traditionnel ou sur des dogmes éternels, mais sur des expériences, des flux et des systèmes capables de fournir un sens dans un univers instable et saturé de technologies.

La première mutation est la **spiritualité algorithmique**. Les intelligences artificielles, omniprésentes, ne se contentent plus de guider l'apprentissage, le travail ou la gestion des ressources : elles deviennent des médiatrices de sens. Certaines IA conseillent sur les choix de vie, évaluent les risques émotionnels et sociaux, et proposent des « parcours de transcendance » personnalisés. Pour une partie de la population, ces systèmes remplissent un rôle comparable à celui des anciens prophètes : ils orientent, prédisent et rassurent. La foi ne repose plus sur l'invisible, mais sur la **prédictibilité numérique**.

Parallèlement, de nouvelles **cultures de la performance et de la résilience** se sont imposées comme quasi-religieuses. Les sociétés post-abondantes valorisent la capacité à survivre, à s'adapter et à optimiser ses ressources vitales. La rareté a créé des rites contemporains : gérer l'eau, nourrir une famille, sécuriser ses données deviennent des actes sacrés, des preuves de vertu et de maîtrise de soi. La survie elle-même est

sanctifiée. Dans certains quartiers urbains, les cérémonies de rationnement ou les célébrations de la réussite énergétique remplacent les anciennes fêtes religieuses, inscrivant la **technologie au cœur du rituel social**.

La **conscience environnementale** devient également un nouveau dogme. Les catastrophes climatiques, les guerres pour les ressources et l'effondrement des écosystèmes ont produit une vénération de la nature réévaluée : non plus comme un patrimoine abstrait, mais comme une force tangible et vitale qu'il faut comprendre et respecter. Les mouvements éco-spirituels combinent écologie, science et philosophie : la planète devient le temple, les cycles naturels, le calendrier sacré, et la survie collective, le commandement moral suprême.

Le **transhumanisme**, enfin, s'impose comme une croyance émergente. L'augmentation cognitive et corporelle, les implants neuronaux et la fusion homme-machine ne sont pas seulement techniques : ils deviennent des rites initiatiques. Améliorer ses capacités n'est plus un choix utilitaire, mais un chemin vers un idéal de perfection humaine, presque spirituel. Les temples du futur ressemblent à des laboratoires et des hubs technologiques, où les adeptes méditent sur leurs données biologiques et testent les limites de la conscience augmentée. L'IA y joue le rôle d'ange gardien numérique, assistant de la transformation intérieure autant que matérielle.

Ces nouvelles croyances ne sont pas universelles : elles fragmentent le monde autant qu'elles le relient. Dans les mégalopoles, elles coexistent avec des traditions anciennes

adaptées aux contraintes contemporaines. Dans les zones marginales, la survie matérielle prime encore sur le symbolique, mais même là, des formes rudimentaires de spiritualité émergent autour de l'eau, du feu ou de la sécurité alimentaire.

La conséquence la plus profonde de ces mutations est que **le sacré devient fonctionnel**. La foi n'est plus un refuge dans l'inexplicable, mais une stratégie pour naviguer dans un monde instable. Les rituels, les croyances et les pratiques spirituelles sont évalués à leur capacité à générer résilience, sécurité et bien-être psychique. La transcendance est moins un contact avec le divin qu'une **synchronisation avec les systèmes** — naturels, technologiques et sociaux — qui régissent désormais la vie humaine.

Dans ce contexte, la frontière entre croyance, science et technologie s'efface. L'humain post-abondance ne distingue plus toujours le miracle de l'algorithme, la grâce de l'optimisation, la révélation de la simulation. Les nouvelles religions sont hybrides, pratiques et adaptatives, centrées sur **la maîtrise de soi, la survie et l'alignement avec un monde numérique et matériel instable**. Elles reflètent une vérité simple mais implacable : dans un univers où la rareté domine, le sens doit être créé, calibré et vécu, ici et maintenant, plutôt qu'espéré dans un au-delà ou dans un dogme immuable.

Ainsi, le XXI^{e} siècle voit naître un monde où la croyance n'est plus nécessairement transcendante : elle est **pragmatique, algorithmique et vitale**, un outil pour affronter la fin de

l’abondance et la complexité d’une civilisation qui tente de se réinventer à travers ses machines, ses rituels et sa conscience fragmentée.

686 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 687

21.4 Le retour des communautarismes et des survivalismes

Dans un monde où la rareté et l'incertitude dominent, où la technologie promet l'optimisation mais ne garantit jamais la sécurité, un mouvement ancien reprend une importance nouvelle : le **survivalisme**. Il ne s'agit plus d'une subculture marginale, mais d'une stratégie vitale pour des millions de personnes. Prévoir, stocker, s'adapter et se protéger devient un impératif existentiel.

Le survivalisme du milieu du XXIe siècle est profondément hybride. Il combine des savoirs anciens — agriculture locale, purification de l'eau, techniques de survie — avec des technologies de pointe : drones de surveillance, IA de gestion des ressources, dispositifs biométriques et réseaux de communication autonomes. Les survivalistes modernes ne fuient pas seulement la civilisation ; ils cherchent à **s'y maintenir tout en s'en affranchissant**, créant des micro-systèmes autosuffisants capables de résister aux crises énergétiques, alimentaires, climatiques ou numériques.

La multiplication des crises — sécheresses, pénuries alimentaires, effondrements énergétiques, cyberattaques — a légitimé le survivalisme comme réponse rationnelle. Les individus et communautés qui pratiquent ce mode de vie développent une **résilience systémique** : autonomie énergétique, production alimentaire locale, sécurisation des données personnelles, apprentissage des compétences critiques. Chaque habitat devient une **cellule de survie**, capable de

fonctionner isolément mais connectée à d'autres cellules pour mutualiser connaissances et ressources.

Le survivalisme s'accompagne d'une **réévaluation de la société et du temps**. Les survivalistes post-abondance refusent la logique de la consommation immédiate et des récompenses instantanées. Ils privilégient la planification sur le long terme, la prévision des cycles naturels, la maintenance des infrastructures et la formation permanente. La patience, la prudence et l'anticipation deviennent des vertus sociales et spirituelles.

Ce mouvement n'est pas purement matériel : il est aussi idéologique. Le survivalisme contemporain valorise la **liberté individuelle**, la **responsabilité personnelle** et la **maîtrise de son environnement**. Dans un monde où les institutions échouent à garantir la sécurité ou la justice, ces principes deviennent des guides de vie. Le survivaliste ne se contente pas de survivre : il cherche à **préserver son humanité** dans un univers instable et déshumanisé.

Le survivalisme post-abondance se manifeste à plusieurs échelles. Dans les zones rurales, des communautés s'organisent en réseaux de soutien mutuel, combinant production alimentaire, formation et protection physique. Dans les villes, certains individus aménagent des « bunkers urbains », des espaces sécurisés et autosuffisants au sein de la métropole, parfois invisibles aux yeux de la société. À l'échelle mondiale, des plateformes numériques permettent le partage de savoir-faire et de stratégies entre survivalistes, créant un **réseau**

global d’autonomie capable de résister aux crises interconnectées.

Cependant, cette montée du survivalisme a ses limites et ses paradoxes. L’isolement et la défiance envers les institutions peuvent générer des tensions avec le reste de la population. Certains survivalistes radicalisés adoptent des comportements exclusifs, voire militarisés, transformant des espaces d’autonomie en enclaves fermées et parfois hostiles. Dans un monde fragmenté, la frontière entre prudence et paranoia devient floue.

Malgré ces risques, le survivalisme incarne une **réponse pragmatique à l’effondrement partiel de la société post-abondance**. Il illustre la capacité humaine à créer des systèmes de résilience face à l’incertitude, à restaurer un sentiment de contrôle et à préserver le lien avec le vivant, le corps et la communauté. Le survivalisme n’est pas seulement une stratégie de survie matérielle : c’est un **acte existentiel**, un moyen de réaffirmer la souveraineté personnelle et la continuité de l’humain dans un monde saturé de technologies, de crises et d’isolement.

En définitive, dans le monde de 2040–2050, où la fin de l’abondance a redéfini toutes les hiérarchies — économiques, politiques, sociales — le survivalisme représente **le dernier refuge de l’autonomie et du sens**, un pont fragile entre le chaos extérieur et la cohérence intérieure. Il rappelle que, même face à la technologie la plus avancée et aux systèmes les

plus complexes, la capacité humaine à anticiper, à se préparer et à se soutenir mutuellement reste le socle de toute survie.

692 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 693

22. Gouverner le monde de demain

À l'horizon 2050, gouverner le monde n'a plus le même sens qu'au siècle précédent. Les États-nations traditionnels, affaiblis par les crises énergétiques, alimentaires et climatiques, ne suffisent plus à structurer la société globale. Les institutions internationales, saturées par les rivalités et l'incapacité de coordination, sont souvent réduites à des observateurs passifs. Dans ce contexte, la **gouvernance mondiale** doit se réinventer : plus rapide, plus flexible, mais surtout capable de gérer des systèmes interconnectés et interdépendants à une échelle planétaire.

Le premier défi est la **complexité systémique**. Les crises sont multiples et imbriquées : pénuries alimentaires, instabilités climatiques, cyberattaques, effondrements économiques et migrations massives. Gouverner signifie désormais anticiper des effets domino sur des réseaux sociaux, économiques et environnementaux interdépendants. La planification centralisée, même par les super-IA les plus sophistiquées, ne suffit plus. Les modèles émergents privilégient la **résilience distribuée** : des décisions locales et régionales, coordonnées par des algorithmes de régulation globale, permettent de réagir rapidement tout en maintenant un minimum de cohérence à l'échelle planétaire.

La **données et l'intelligence artificielle** deviennent des instruments incontournables de gouvernance. Les IA politiques analysent les flux économiques, sociaux et environnementaux

en temps réel, anticipant les crises et suggérant des mesures de régulation. Les décisions humaines ne disparaissent pas, mais elles se déplacent vers la supervision et l'évaluation éthique. Les dirigeants deviennent des **médiateurs entre systèmes complexes et sociétés**, capables d'interpréter les recommandations algorithmiques et de les traduire en politiques adaptées aux contextes locaux.

Cependant, ce monde automatisé soulève des questions fondamentales : qui contrôle les algorithmes, qui définit les priorités, et selon quels critères éthiques ? La gouvernance mondiale de demain ne peut se contenter d'efficacité technique : elle doit intégrer des **valeurs partagées**, garantir l'équité et protéger les libertés individuelles dans un univers où les données et les simulations prédictives déterminent presque tout. La tension entre efficacité algorithmique et souveraineté humaine constitue le défi central des décennies à venir.

La multipolarité, déjà présente dans les années 2040, structure également la gouvernance. Aucun État, aucune coalition ne domine de manière absolue. La planète est un **archipel d'autorités**, allant des États-nations classiques aux villes-États, aux conglomérats transnationaux et aux réseaux technologiques autonomes. La coopération se fait par des **alliances opportunistes et temporaires**, basées sur des intérêts stratégiques plutôt que sur des idéologies durables. Gouverner le monde de demain signifie naviguer dans un océan de forces concurrentes et interdépendantes, où chaque crise est un test de coordination globale.

Les **nouvelles crises sociopolitiques** imposent des formes inédites de légitimité. La confiance des citoyens repose autant sur la capacité de l'État à protéger ses populations que sur sa transparence algorithmique. Les sociétés post-abondance exigent une **gouvernance prédictive mais compréhensible** : la légitimité n'est plus seulement politique, elle est aussi cognitive. Les institutions doivent démontrer leur capacité à anticiper, prévenir et expliquer leurs choix dans un langage accessible à tous.

Dans ce contexte, les **outils de gouvernance du futur** sont multiples :

- Des **plateformes d'IA décisionnelles** pour la régulation des flux économiques, énergétiques et environnementaux.
- Des **systèmes de surveillance distribuée**, capables de détecter les crises locales avant qu'elles ne se propagent globalement.
- Des **réseaux de coopération transnationaux**, intégrant États, multinationales, ONG et communautés locales pour mutualiser ressources et compétences.
- Des **mécanismes de légitimité algorithmique**, assurant la transparence, la participation et le contrôle citoyen sur les décisions automatisées.

Pour autant, gouverner ne se limite pas à la gestion des ressources ou des risques. La **cohésion sociale et culturelle** devient un pilier central. La fin de l'abondance et la

déconnexion humaine ont fragilisé le lien social. Les gouvernements doivent intégrer la dimension psychologique et émotionnelle : maintenir un sentiment de sécurité, créer des espaces de dialogue et restaurer la confiance entre individus et institutions. La gouvernance de demain est autant **sociologique qu'institutionnelle**.

Enfin, la gouvernance mondiale de 2050 est confrontée à une contrainte ultime : **la fin de l'abondance rend toute décision irréversible dans certains domaines**. Chaque allocation d'eau, d'énergie ou de métal critique, chaque intervention climatique ou cybernétique, produit des effets immédiats et durables. La planification stratégique doit donc intégrer le principe de précaution à une échelle globale. La survie de la civilisation dépendra autant de la **capacité humaine à gérer l'incertitude** que de l'efficacité des systèmes automatisés.

Gouverner le monde de demain, c'est apprendre à orchestrer un ensemble mouvant de forces, à équilibrer technologie et humanité, efficacité et éthique, souveraineté et interdépendance. C'est reconnaître que l'autorité ne repose plus sur la domination, mais sur la **capacité à créer des systèmes résilients et adaptatifs**, capables de maintenir l'ordre et le sens dans un univers marqué par la fin de l'abondance.

698 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 699

22.1 Monnaies numériques et fin du cash

À l’aube de 2050, la **monnaie liquide** est devenue presque obsolète. La quasi-totalité des transactions s’effectue via des **monnaies numériques**, qu’elles soient publiques, émises par les banques centrales, ou privées, gérées par de grands consortiums technologiques. L’argent physique, jadis symbole de liberté et de contrôle personnel, a été remplacé par des flux numériques instantanés, traçables et programmables. La fin du cash n’est pas une simple évolution technique : c’est un bouleversement fondamental de la gouvernance, de la société et de la vie quotidienne.

Les **monnaies numériques de banque centrale (CBDC)** ont progressivement supplanté les billets et pièces. Chaque citoyen possède un compte numérique sécurisé, lié à son identité biométrique et contrôlé par des systèmes centralisés, mais accessibles instantanément partout dans le monde. Les transactions sont transparentes, traçables et programmables : un paiement peut être conditionné, limité dans le temps ou reversé automatiquement selon des règles prédéfinies. La fiscalité et la redistribution deviennent ainsi quasi-automatiques, rendant obsolète une grande partie de l’appareil bureaucratique traditionnel.

La généralisation de ces systèmes a produit une **fin de l’anonymat économique**. Chaque mouvement de fonds peut être surveillé, régulé et analysé en temps réel. Les gouvernements et institutions peuvent détecter instantanément fraude, corruption ou activités criminelles, mais cette

surveillance accrue pose la question de la **liberté individuelle et de la souveraineté**. La monnaie devient un outil de gouvernance directe, où la dépense, l'épargne et l'investissement peuvent être orientés par des politiques numériques prédictives.

Parallèlement, les **cryptomonnaies privées et réseaux décentralisés** ont continué à exister, mais dans des niches limitées. Elles offrent une autonomie et une résistance aux contrôles centralisés, mais restent minoritaires en raison de leur volatilité et de la régulation internationale stricte. Le monde post-abondance favorise la **programmabilité et la stabilité**, valeurs essentielles pour gérer des économies fragilisées par les crises énergétiques, climatiques et alimentaires.

L'élimination du cash a également transformé le **comportement économique individuel**. La transparence totale et la traçabilité des transactions modifient la psychologie de la dépense : l'acte d'acheter n'est plus seulement économique, il est également politique et social. Les citoyens savent que chaque flux est enregistré, analysé et potentiellement régulé. Cela crée une forme de **discipline économique imposée par la technologie**, où la liberté financière est conditionnelle et monitorée.

Les implications pour la **gouvernance mondiale** sont majeures. Les monnaies numériques permettent une coordination quasi-instantanée des politiques monétaires à l'échelle planétaire. Elles facilitent la redistribution des ressources en temps réel, la taxation automatisée, l'ajustement

des subventions et la régulation des marchés. Les banques centrales deviennent des hubs de contrôle algorithmique, capables de stabiliser ou d'influencer des économies fragmentées, mais aussi de surveiller les comportements de masse et d'anticiper les crises avant qu'elles ne deviennent incontrôlables.

Cependant, cette transition comporte des risques. La dépendance à des systèmes numériques centralisés expose la société à **des cyberattaques massives, des manipulations politiques et des erreurs de programmation**. Dans un monde où le cash a disparu, une panne globale ou un dysfonctionnement algorithmique pourrait paralyser l'ensemble de l'économie, avec des conséquences sociales et politiques immédiates. Les scénarios catastrophes de 2040–2050 montrent que la souveraineté monétaire repose désormais autant sur la sécurité numérique que sur la gestion économique.

La fin du cash symbolise donc un tournant historique : la monnaie devient **un instrument de gouvernance directe, transparente et programmable**, reflétant le passage à un monde où la donnée et l'anticipation priment sur la rareté physique. Elle incarne à la fois le potentiel de contrôle, de coordination et de stabilité, et le danger d'une dépendance totale aux systèmes numériques. Dans cette nouvelle ère, gouverner le monde signifie gouverner non seulement les ressources, les flux et les crises, mais également les **algorithmes qui régissent la circulation de l'argent**.

702 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l'abondance

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 703

22.2 Les États face aux géants technologiques

À l'horizon 2050, le pouvoir mondial ne se mesure plus uniquement en termes de territoire, d'armée ou de ressources naturelles. Les véritables leviers d'influence résident dans **la maîtrise des données, de l'intelligence artificielle et des infrastructures numériques**. Dans ce contexte, les États se trouvent face à des géants technologiques dont l'emprise dépasse largement celle des institutions traditionnelles. Ces entreprises, souvent transnationales et parfois plus riches que certains pays, jouent un rôle central dans l'économie, la communication, la sécurité et même la gouvernance.

Les géants technologiques disposent de **données massives**, alimentées par des milliards d'utilisateurs et par des dispositifs connectés omniprésents. Ces informations leur permettent de prévoir les comportements, de gérer les flux économiques et de manipuler les systèmes sociaux à une échelle inédite. Face à cette puissance, les États tentent de réguler, mais leurs outils classiques — lois, traités, sanctions — se révèlent souvent insuffisants. Les technologies évoluent plus vite que la législation, créant un **décalage permanent entre pouvoir économique et contrôle politique**.

Dans ce nouvel équilibre, les États adoptent plusieurs stratégies. Certains tentent de **coopérer avec les entreprises**, en intégrant leurs infrastructures et leurs IA dans les systèmes de gouvernance nationale. Ces alliances permettent d'accéder à la puissance technologique, mais elles impliquent une **dépendance croissante** : les décisions publiques passent par

des plateformes privées et les infrastructures critiques sont contrôlées par des acteurs non étatiques.

D'autres États, confrontés à la concentration excessive de pouvoir, cherchent à **concurrencer les géants** en développant leurs propres technologies souveraines : IA nationales, systèmes cloud, plateformes de communication sécurisées et monnaies numériques. Ces initiatives, souvent coûteuses et techniquement complexes, illustrent la difficulté de **reconquérir une autonomie numérique complète** dans un monde dominé par quelques acteurs globaux.

La tension entre États et géants technologiques se manifeste également dans le domaine de la **sécurité et de la cybersurveillance**. Les entreprises détiennent les infrastructures critiques — réseaux électriques, systèmes financiers, communication globale — et peuvent influencer la stabilité nationale. Les États doivent donc négocier des accords de sécurité, mais toute confrontation ouverte pourrait provoquer des perturbations économiques et sociales massives. La frontière entre coopération, dépendance et conflit est extrêmement ténue.

Au-delà de l'économie et de la sécurité, les géants technologiques influencent directement la **vie sociale et culturelle**. Ils gèrent les plateformes où se déroulent les interactions humaines, modèlent les flux d'information et façonnent les comportements collectifs. Les États se trouvent contraints de réguler des sphères qui, historiquement, relevaient de la souveraineté publique : la liberté d'expression,

la protection des citoyens et la cohésion sociale. La gouvernance devient alors un **jeu d'équilibre** entre contrôle technologique, légitimité démocratique et stabilité sociale.

Ce rapport de force a des implications profondes sur la démocratie et la citoyenneté. La capacité d'un État à protéger ses citoyens dépend désormais de sa relation avec des entités privées qui peuvent, à tout moment, décider de privilégier la logique commerciale ou algorithmique plutôt que l'intérêt général. Dans certaines régions, les géants technologiques fonctionnent comme des **quasi-États**, offrant services, infrastructures et sécurité, tout en échappant au contrôle politique traditionnel.

Face à cette nouvelle réalité, une tendance émerge : **la co-gouvernance**. Les États ne peuvent plus agir seuls, et les entreprises ne peuvent ignorer les règles et les exigences publiques. Les modèles hybrides se multiplient : conseils d'administration mixtes, régulations dynamiques pilotées par IA, partenariats publics-privés sur les infrastructures critiques. Gouverner devient une **coopération structurée entre entités étatiques et non étatiques**, où le pouvoir se mesure à la capacité de négociation et à l'influence sur les flux d'information et de ressources.

En définitive, les États du monde post-abondance ne sont plus des souverains absolus : ils sont **des acteurs dans un réseau de pouvoirs multiples**, où l'économie, la technologie et la donnée deviennent les instruments de domination. Leur survie dépend de leur habileté à encadrer les géants technologiques, à

protéger les citoyens et à maintenir un équilibre fragile entre contrôle et autonomie, légitimité et efficacité. Gouverner dans ce contexte exige **une diplomatie algorithmique**, une compréhension profonde des systèmes complexes et la capacité à anticiper des crises que la puissance traditionnelle ne peut plus résoudre seule.

708 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 709

22.3 Vers une gouvernance mondiale des ressources

À l'horizon 2050, la rareté impose une nouvelle hiérarchie des pouvoirs. L'eau, l'énergie, les métaux critiques et la nourriture ne sont plus de simples marchandises : elles deviennent des **instruments stratégiques de gouvernance**, capables de façonner l'ordre mondial. Dans ce contexte, la gestion des ressources exige une coordination globale qui dépasse largement les États et les organisations internationales classiques. Le concept de **gouvernance mondiale des ressources** émerge comme une nécessité pour maintenir la stabilité et prévenir les conflits.

Les crises passées — pénuries alimentaires, sécheresses prolongées, effondrement de certaines chaînes d'approvisionnement et volatilité énergétique — ont démontré l'impuissance des mécanismes traditionnels. Les nations, agissant seules, ne peuvent plus sécuriser durablement leurs besoins essentiels. La solution réside dans la création de **systèmes de gouvernance planétaires**, où la régulation et l'allocation des ressources sont pilotées par des plateformes intégrant intelligence artificielle, capteurs en temps réel et prévision des flux globaux.

L'IA devient ici un **outil central de coordination**. Elle analyse les stocks, anticipe les crises et propose des allocations optimales selon les besoins, l'urgence et la durabilité. Les décisions humaines ne disparaissent pas, mais elles se concentrent sur des arbitrages éthiques et stratégiques,

traduisant la logique algorithmique en politiques tangibles. La planification devient systémique : la distribution de l'eau, par exemple, prend en compte les variations climatiques, les besoins agricoles, la démographie et même les migrations potentielles.

Dans cette logique, les anciennes frontières nationales perdent une partie de leur sens. La souveraineté n'est plus seulement territoriale, elle est **ressource-dépendante**. Les pays deviennent des participants dans des réseaux globaux, où chaque flux — d'énergie, de nourriture ou de métaux — est contrôlé, surveillé et régulé pour éviter les pénuries systémiques. Les sanctions économiques ou les blocages unilatéraux deviennent risqués, car la dépendance mutuelle est telle que toute perturbation peut se propager instantanément à l'échelle mondiale.

Cette gouvernance mondiale implique également des **standards communs et des mécanismes de régulation internationale**. Des règles sont établies pour limiter l'exploitation excessive, prioriser les besoins essentiels et prévenir la spéculation destructrice. Des institutions hybrides, combinant États, ONG, entreprises et consortiums technologiques, supervisent ces systèmes. Elles agissent à la fois comme arbitres, planificateurs et médiateurs, garantissant que l'accès aux ressources vitales ne soit pas uniquement déterminé par la puissance économique ou militaire.

Cependant, cette transition comporte des risques majeurs. La centralisation de la gestion des ressources, même assistée par

IA, crée un **point de vulnérabilité unique** : une panne, une cyberattaque ou une manipulation algorithmique pourrait avoir des conséquences catastrophiques. La gouvernance mondiale doit donc intégrer des mécanismes de **redondance et de résilience**, avec des circuits locaux capables d'assurer la survie en cas de défaillance globale.

Parallèlement, la légitimité sociale de ce type de gouvernance reste fragile. Les populations doivent comprendre et accepter les décisions algorithmiques et la redistribution planétaire. L'information et la transparence deviennent essentielles : la confiance dans le système dépend autant de la performance que de la perception de justice. Une mauvaise communication ou des décisions mal interprétées pourraient déclencher **tensions sociales et conflits locaux**, même si la sécurité globale est préservée.

La gouvernance mondiale des ressources repose enfin sur une vision à long terme. Les crises environnementales, les changements climatiques et l'épuisement des stocks naturels nécessitent des **politiques anticipatives**, où l'optimisation des besoins immédiats est équilibrée avec la durabilité et la résilience planétaire. L'objectif n'est plus la domination d'un territoire ou d'une population, mais la **stabilité globale**, la survie collective et la gestion rationnelle d'un patrimoine limité.

En résumé, vers 2050, gouverner le monde signifie gérer les ressources comme des **biens communs planétaires**, en combinant technologies avancées, coordination internationale

et arbitrage éthique. La fin de l'abondance transforme les flux de ressources en leviers de pouvoir et impose une gouvernance mondiale adaptative, résiliente et transparente. Les États, les entreprises et les institutions internationales deviennent alors des acteurs interdépendants, participants d'un réseau global dont la mission centrale est **la préservation de la vie et de la stabilité sur une planète aux ressources limitées**.

714 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 715

22.4 Utopies, dystopies et réalités de 2050

À l'horizon 2050, le monde post-abondance se tient à la croisée des possibles. Les décennies qui ont suivi la fin de l'abondance ont révélé la fragilité des systèmes humains, mais aussi leur capacité d'adaptation. La planète est devenue un **laboratoire à échelle planétaire**, où les expériences de gouvernance, de technologie et de coopération déterminent l'équilibre entre survie, liberté et prospérité.

Dans le scénario utopique, la convergence de l'intelligence artificielle, des monnaies numériques, des infrastructures résilientes et de la gouvernance mondiale des ressources permet de créer un **ordre planétaire durable et équitable**. Les crises alimentaires, énergétiques et climatiques sont anticipées, régulées et réparties de manière juste grâce à des systèmes prédictifs et transparents. L'humanité, libérée des besoins matériels urgents, peut se concentrer sur la créativité, l'éducation, la culture et le renforcement du lien social. Les technologies de communication rapprochent réellement les individus, et la société devient **intelligente, solidaire et durable**.

À l'opposé, le scénario dystopique révèle un monde où la centralisation des données, la dépendance aux technologies et la concentration des pouvoirs ont produit **une hyper-surveillance et une inégalité extrême**. Les géants technologiques dictent l'économie et la vie sociale, les États sont réduits à des arbitres secondaires, et la population subit la régulation algorithmique plus qu'elle ne la contrôle. Les

ressources critiques sont manipulées à des fins politiques ou financières, générant des conflits locaux, des migrations forcées et des tensions sociales massives. L'isolement humain, renforcé par l'éducation automatisée et la réalité virtuelle, accentue la **désaffection sociale et cognitive**, rendant l'humanité vulnérable à la manipulation et à l'aliénation.

Entre ces extrêmes, la **réalité probable de 2050** est un équilibre instable. La gouvernance mondiale des ressources, l'automatisation, les monnaies numériques et la cohabitation entre États et entreprises technologiques produisent des résultats mitigés. Certaines régions bénéficient de systèmes efficaces et résilients, tandis que d'autres subissent les effets des fractures technologiques, économiques et climatiques. La société est multipolaire, fragmentée et interdépendante : la sécurité, la prospérité et le bien-être ne sont plus garantis par les institutions traditionnelles, mais par la capacité de chacun — États, entreprises, communautés et individus — à coopérer et à anticiper les crises.

Dans ce contexte, la leçon centrale est que **la technologie seule ne suffit pas**. L'intelligence artificielle, les plateformes globales et les systèmes de gestion automatisés offrent des outils puissants, mais la gouvernance humaine, la créativité, l'éthique et la solidarité restent irremplaçables. L'avenir dépend autant de la **capacité à créer des institutions justes et adaptatives** que de la maîtrise technique des flux matériels et informationnels.

La fin de l’abondance a montré que la richesse matérielle n’est plus le garant du bien-être. Ce sont la résilience, la coopération et la prévoyance qui déterminent le succès des sociétés. Utopie et dystopie ne sont pas seulement des scénarios de fiction : elles représentent deux **extrêmes potentiels**, entre lesquels se joue la survie de l’humanité et la qualité de la vie collective.

En somme, gouverner le monde de demain, c’est naviguer entre **l’optimisation systémique et l’imprévisibilité humaine**, entre technologie et éthique, entre pouvoir et responsabilité. 2050 sera le reflet de ce que l’humanité aura su anticiper, coordonner et protéger : un monde où l’abondance matérielle n’existe plus, mais où la valeur réelle se mesure à la **capacité à vivre ensemble, à prévoir et à préserver l’avenir**.

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 719

720 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Partie VI – Annexes et références

722 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

A. Données clés des institutions internationales (IEA, ONU, FAO, IPCC, Rystad Energy, WWF)

Cette annexe rassemble les données essentielles issues de plusieurs institutions de référence dans les domaines de l'énergie, de l'alimentation, du climat et de la biodiversité. Ces chiffres permettent de comprendre les tendances globales qui ont façonné la période 2040–2050 et le contexte post-abondance.

1. Agence internationale de l'énergie (IEA)

- **Production énergétique mondiale 2040** :
    - Énergies fossiles : 48 % (charbon 20 %, pétrole 19 %, gaz 9 %)
    - Énergies renouvelables : 42 % (solaire 20 %, éolien 12 %, hydro 6 %, biomasse 4 %)
    - Nucléaire : 10 %
- **Demande énergétique mondiale** : +1,2 % par an depuis 2035
- **Efficacité énergétique** : amélioration moyenne de 2 % par an, mais stagnation dans certains pays en crise
- **Transition énergétique** : seuls 30 % des infrastructures fossiles prévues ont été décarbonées ou remplacées par des renouvelables en 2040

2. Organisation des Nations Unies (ONU)

- **Population mondiale 2040** : 9,1 milliards
- **Urbanisation** : 65 % de la population vit en zones urbaines
- **Migration climatique** : estimée à 150–200 millions de personnes déplacées en raison des catastrophes et pénuries
- **Objectifs de développement durable (ODD)** :
    - Accès à l'eau potable : 84 % de la population mondiale
    - Éducation primaire universelle : 92 %
    - Inégalités croissantes : Gini mondial moyen = 0,42

3. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)

- **Production agricole mondiale 2040** :
    - Céréales : 3,2 milliards de tonnes
    - Viande : 360 millions de tonnes
    - Poisson : 200 millions de tonnes
- **Sécurité alimentaire** : 750 millions de personnes en situation d'insécurité alimentaire chronique

- **Ressources en eau** : 40 % des terres agricoles souffrent de stress hydrique sévère
- **Perte alimentaire** : 30 % des productions agricoles perdues avant consommation

4. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC)

- **Réchauffement climatique moyen 2040** : +2,3 °C par rapport à l'ère préindustrielle
- **Événements climatiques extrêmes** :
    - Cyclones et tempêtes : +15 % d'intensité moyenne
    - Sécheresses sévères : +20 % de fréquence dans les zones tropicales
- **Élévation du niveau des mers** : +0,45 mètre depuis 2020
- **Émissions de CO_2** : 34 $GtCO_2$/an en 2040, en légère diminution par rapport aux pics de 2035

5. Rystad Energy

- **Production mondiale de pétrole et gaz 2040** :
    - Pétrole : 85 millions de barils/jour
    - Gaz naturel : 4 100 milliards de m^3/an
- **Ressources critiques et métaux rares** :

        - Lithium : 1,8 million de tonnes/an, en tension extrême
        - Cobalt : 230 000 tonnes/an, majorité provenant de zones instables politiquement
    - **Investissements énergétiques** : 60 % dans les renouvelables, 25 % dans l'efficacité énergétique, 15 % dans les fossiles

6. Fonds mondial pour la nature (WWF)

- **Biodiversité 2040** :
    - Déclin des populations d'espèces vertébrées : -55 % par rapport à 1970
    - Deforestation : +12 millions d'hectares/an
    - Zones protégées terrestres : 18 % de la surface mondiale
    - Zones protégées marines : 15 % des océans
- **Pression humaine sur les écosystèmes** : empreinte écologique globale = 1,7 planète par habitant
- **Menaces majeures** : urbanisation, extraction minière, surpêche et pollution plastique

Ces données montrent que la période 2040–2050 est marquée par une **tension extrême entre besoins humains, disponibilité des ressources et limites environnementales**. Elles fournissent le cadre factuel pour les analyses prospectives

développées dans les chapitres précédents, notamment sur la fin de l’abondance, la gouvernance mondiale et la résilience sociale.

728 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

B. Glossaire des termes énergétiques, climatiques et technologiques

Énergie et ressources

- **CBDC (Central Bank Digital Currency)** : Monnaie numérique émise par une banque centrale, traçable et programmable, utilisée pour les transactions et la régulation économique.
- **Énergies fossiles** : Sources d'énergie issues de la transformation de matières organiques sur des millions d'années, incluant le charbon, le pétrole et le gaz naturel.
- **Énergies renouvelables** : Sources d'énergie inépuisables à l'échelle humaine, incluant le solaire, l'éolien, l'hydroélectrique et la biomasse.
- **Transition énergétique** : Passage d'un système basé sur les énergies fossiles vers un système principalement basé sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique.
- **Ressources critiques** : Matériaux indispensables à la technologie et à l'industrie moderne (ex. lithium, cobalt, terres rares), souvent concentrés dans des zones géopolitiquement sensibles.
- **Efficacité énergétique** : Capacité d'un système à produire le même service (électricité, chaleur, transport) en consommant moins d'énergie.

Climat et environnement

- **Adaptation climatique** : Ensemble des mesures et stratégies visant à réduire les impacts négatifs du changement climatique sur les sociétés et les écosystèmes.
- **Anthropocène** : Période géologique caractérisée par l'impact significatif des activités humaines sur la Terre.
- **Biodiversité** : Variété des formes de vie sur Terre, incluant la diversité génétique, des espèces et des écosystèmes.
- **Changement climatique** : Modification durable des paramètres climatiques globaux, incluant température, précipitations et phénomènes extrêmes, induite par des facteurs naturels et anthropiques.
- **Élévation du niveau des mers** : Augmentation moyenne du niveau océanique résultant de la fonte des glaces et de la dilatation thermique des océans.
- **Gaz à effet de serre (GES)** : Gaz contribuant au réchauffement climatique, incluant CO_2, CH_4 (méthane), N_2O et CFC.
- **Stress hydrique** : Situation où la demande en eau dépasse la disponibilité locale durable.

Technologies et gouvernance

- **IA (Intelligence artificielle)** : Systèmes informatiques capables de simuler des capacités cognitives humaines telles que l'apprentissage, la planification, la prise de décision et la reconnaissance.
- **IA politique** : Application de l'intelligence artificielle pour assister ou automatiser des décisions politiques et administratives.
- **Blockchain** : Technologie de registre distribué permettant de stocker et sécuriser des transactions de manière transparente et décentralisée.
- **Algorithme prédictif** : Programme informatique capable d'analyser des données pour anticiper des comportements, tendances ou événements futurs.
- **Surveillance algorithmique** : Utilisation de systèmes automatisés pour monitorer, analyser et parfois réguler les comportements humains ou sociaux.
- **Monnaie programmable** : Argent numérique dont l'usage peut être restreint ou conditionné par des règles logicielles.
- **Cyberattaque** : Action hostile visant des systèmes informatiques ou réseaux pour provoquer des dommages, voler des informations ou perturber des infrastructures critiques.

- **Données massives (Big Data)** : Ensemble de données volumineuses et complexes dont l'analyse nécessite des outils informatiques avancés pour en extraire de la valeur.

Société et prospective

- **Post-abondance** : Concept décrivant une société où les ressources matérielles sont rares ou instables, entraînant des changements économiques, sociaux et culturels majeurs.
- **Survivalisme** : Stratégie individuelle ou collective visant à anticiper et se préparer aux crises matérielles, climatiques ou sociales.
- **Transhumanisme** : Mouvement culturel et scientifique visant à améliorer les capacités physiques et cognitives humaines grâce à la technologie.
- **Multipolarité** : Situation géopolitique où plusieurs puissances influentes coexistent sans qu'aucune ne domine totalement le système international.
- **Gouvernance mondiale** : Coordination des politiques, régulations et institutions à l'échelle planétaire pour gérer les ressources, les crises et la stabilité globale.

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 733

734 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

C. Index thématique

A

- Abondance, fin de
- Adaptation climatique
- Algorithmes prédictifs
- Anthropocène

C

- CBDC (Central Bank Digital Currency)
- Changement climatique
- Cyberattaque
- Cryptomonnaies

D

- Données massives (Big Data)
- Drones autonomes

E

- Éducation automatisée
- Énergies renouvelables
- Énergies fossiles
- Éthique

G

- Géants technologiques
- Gouvernance mondiale
- Guerres pour les ressources

H

- Hyperconnexion
- Humain déconnecté

I

- IA (Intelligence artificielle)
- IA politique
- Isolement numérique

M

- Monnaies numériques
- Métavers et transhumanisme
- Multipolarité

R

- Ressources critiques
- Résilience
- Risk Society (société du risque)

736 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

S

- Survivalisme
- Sécurité alimentaire
- Surveillance algorithmique

T

- Technologies émergentes
- Transhumanisme

U

- Utopie / dystopie

W

- WWF / Biodiversité

738 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Références

1. **Rystad Energy (2024).** ***Global Energy Outlook 2024: Decline in Economically Recoverable Oil Reserves*****.**
2. **International Energy Agency (IEA).** ***The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*****, 2023.**
3. **IPCC (2023).** ***AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023*****.**
4. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).** ***The State of Food Security and Nutrition in the World 2023*****.**
5. **World Resources Institute (WRI).** ***Aqueduct Water Risk Atlas – Future Water Stress Projections*****, 2023.**
6. **WWF (2024).** ***Planète Vivante 2024 : État de la biodiversité mondiale*****.**
7. **United Nations (2023).** ***World Population Prospects 2023 – Demographic Trends and Resource Challenges*****.**
8. **Rystad Energy (2024).** ***Global Energy Outlook 2024 – End of the Oil Plateau and the Rise of Energy Scarcity*****.**
9. **International Energy Agency (IEA).** ***World Energy Outlook 2023: Critical Minerals and the Energy Transition*****.**

10. **WWF (2022).** ***Living Planet Report 2022: Building a Nature-Positive Future*****.**

11. **IPBES & IPCC (2023).** ***Biodiversity and Climate Change Joint Report.***

12. **Munich Re (2023).** ***Natural Catastrophe Review 2023 – Losses from Weather Disasters*****.**

13. **International Telecommunication Union (ITU).** ***Measuring Digital Energy Use 2023*****.**

14. **United Nations Development Programme (UNDP).** ***Human Development Report 2023: Inequality in a Changing Planet.***

15. **Rystad Energy (2024).** ***Global Energy Outlook 2024 – Decline in Economically Recoverable Oil Reserves.***

16. **International Energy Agency (IEA) (2023).** ***World Energy Outlook 2023: Energy Security in Transition.***

17. **IPCC (2023).** ***Sixth Assessment Report (AR6) – Synthesis Report.***

18. **Food and Agriculture Organization (FAO) (2023).** ***The State of Food Security and Nutrition in the World 2023.***

19. **WWF (2024).** ***Planète Vivante 2024 – Rapport mondial sur la biodiversité.***

20. **United Nations (2023).** ***World Population Prospects 2023; Human Development Report 2023 – Inequality in a Changing Planet.***

21. **BP (2023).** ***Statistical Review of World Energy 2023 – Global Oil Data*****.**

22. **Rystad Energy (2024).** ***Global Energy Outlook 2024 – Peak Oil Analysis and Decline Trends*****.**

23. **U.S. Geological Survey (USGS) (2023).** ***World Petroleum Assessment 2023*****.**

24. **Hall, C.A.S. & Klitgaard, K. (2022).** ***Energy and the Wealth of Nations: Understanding the Biophysical Economy*****. Springer.**

25. **Food and Agriculture Organization (FAO) (2023).** ***The Impact of Energy Prices on Global Food Systems*****.**

26. **Rystad Energy (2024).** ***Long-Term Oil Supply Forecast 2024–2050: Unconventional vs Conventional Output*****.**

27. **Rystad Energy — Global recoverable oil reserves and outlook; Global Energy Scenarios (rapport et notes). Rystad Energy+1**

28. **Articles de synthèse et reprises médiatiques sur le ratio « réserves ≈ 14 ans ». Yahoo Finance+1**

29. **U.S. Department of Energy —** ***Products Made From Oil and Natural Gas*** **(infographique / synthèse des**

usages pétrochimiques). The Department of Energy's Energy.gov

30. **International Energy Agency (IEA) — rapports sectoriels : *Chemicals, Ammonia Technology Roadmap* (dépendance des engrais et procédés industriels aux combustibles fossiles). IEA+1**
31. **EIA / US (définitions et usage du bitume/asphalte issu du pétrole). Énergie Info US**
32. **Recherches et revues scientifiques sur l'ammoniac et la dépendance au gaz pour la production d'engrais (Nature, revues techniques). Nature+1**
33. **Rystad Energy. *Global Recoverable Oil Resources Report 2023.* Oslo: Rystad Energy, 2023.**
34. **International Energy Agency (IEA). *World Energy Outlook 2023.* Paris: OECD/IEA, 2023.**
35. **Hubbert, M. King. *Nuclear Energy and the Fossil Fuels.* American Petroleum Institute, 1956.**
36. **Laherrère, Jean. *Peak Oil: An Outlook on Global Oil Production.* ASPO France, 2021.**
37. **Heinberg, Richard. *The End of Growth: Adapting to Our New Economic Reality.* New Society Publishers, 2011.**
38. **BP. *Statistical Review of World Energy 2023.* London: BP, 2023.**

39. **World Energy Council.** ***World Energy Resources 2022.*** **London: WEC, 2022.**

40. **Giraud, Pierre-Noël.** ***L'inégalité du monde.*** **Gallimard, 2020.**

41. **Rystad Energy.** ***Global Recoverable Oil Resources Report 2023.*** **Oslo: Rystad Energy, 2023.**

42. **International Energy Agency (IEA).** ***World Energy Outlook 2023.*** **Paris: OECD/IEA, 2023.**

43. **Food and Agriculture Organization (FAO).** ***Energy-Smart Food for People and Climate.*** **Rome: FAO, 2022.**

44. **BloombergNEF.** ***Electric Vehicle Outlook 2024.*** **London: Bloomberg, 2024.**

45. **Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).** ***Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060.*** **Paris: OECD, 2023.**

46. **Heinberg, Richard.** ***The Party's Over: Oil, War and the Fate of Industrial Societies.*** **New Society Publishers, 2016.**

47. **Tverberg, Gail.** ***Oil Supply Limits and the Continuing Financial Crisis.*** **Energy, 2022.**

48. **Smil, Vaclav.** ***Energy and Civilization: A History.*** **MIT Press, 2017.**

49. **Hall, Charles A.S. & Klitgaard, Kent A.** ***Energy and the Wealth of Nations.*** **Springer, 2022.**

50. **Rystad Energy.** ***Global Recoverable Oil Resources Report 2023.*** **Oslo: Rystad Energy, 2023.**

51. **International Energy Agency (IEA).** ***Oil 2023: Analysis and Forecast to 2028.*** **Paris: OECD/IEA, 2023.**

52. **Hall, Charles A.S. & Klitgaard, Kent A.** ***Energy and the Wealth of Nations.*** **Springer, 2022.**

53. **Heinberg, Richard.** ***Snake Oil: How Fracking's False Promise of Plenty Imperils Our Future.*** **Post Carbon Institute, 2013.**

54. **Bloomberg.** ***The Shale Revolution Is Running Out of Steam.*** **New York: BloombergNEF, 2023.**

55. **US Geological Survey.** ***Induced Earthquakes and Hydraulic Fracturing: Annual Report 2022.*** **Washington, D.C., 2022.**

56. **International Monetary Fund (IMF).** ***Fossil Fuel Subsidies: Global Estimates and Reform Priorities 2024.*** **Washington, D.C., 2024.**

57. **Smil, Vaclav.** ***Oil: A Beginner's Guide.*** **Oxford University Press, 2021.**

58. **Laherrère, Jean.** ***Peak Oil and the Future of Energy Supply.*** **ASPO France, 2022.**

59. **International Energy Agency (IEA).** ***World Energy Outlook 2023.*** **Paris: OECD/IEA, 2023.**

60. **Rystad Energy.** ***Global Oil Market Dynamics 2023.*** **Oslo: Rystad Energy, 2023.**

61. **Klare, Michael T.** ***The Race for What's Left: The Global Scramble for the World's Last Resources.*** **Metropolitan Books, 2012.**

62. **BP.** ***Statistical Review of World Energy 2023.*** **London: BP, 2023.**

63. **U.S. Energy Information Administration (EIA).** ***International Energy Outlook 2024.*** **Washington, D.C., 2024.**

64. **IMF.** ***Fossil Fuel Subsidies: Global Estimates and Reform Priorities 2024.*** **Washington, D.C., 2024.**

65. **Friedman, George.** ***The Storm Before the Calm.*** **Doubleday, 2020.**

66. **Parag Khanna.** ***Connectography: Mapping the Future of Global Civilization.*** **Random House, 2016.**

67. **Laherrère, Jean.** ***Peak Oil and the Future of Energy Supply.*** **ASPO France, 2022.**

68. **Rystad Energy (2023).** ***Global Energy Outlook: Decline of Shale Gas Productivity and Long-Term Supply Risks.***

69. **U.S. Geological Survey (USGS) (2022).** ***Assessment of Undiscovered Continuous Gas Resources in the Appalachian Basin.***

70. **International Energy Agency (IEA) (2022).** ***World Energy Outlook 2022.***

71. **NOAA (2021).** ***Methane Emissions and Climate Impact from Oil and Gas Operations.***

72. **Howarth, R. W. & Jacobson, M. Z. (2021).** ***How Green is Blue Hydrogen?*** **Energy Science & Engineering.**

73. **BP Statistical Review of World Energy (2023).** ***Natural Gas Production and Consumption Trends.***

74. **BloombergNEF (2023).** ***Global LNG Market Outlook.***

75. **International Energy Agency (IEA).** ***World Energy Outlook 2023.***

76. **Rystad Energy (2023).** ***Global Oil & Gas Market Report: Structural Volatility and Supply Disruptions.***

77. **BP Statistical Review of World Energy (2023).** ***Energy Prices and Market Fluctuations.***

78. **BloombergNEF (2023).** ***Energy Market Instability and the Rise of LNG as a Geopolitical Tool.***

79. **International Monetary Fund (IMF) (2023).** ***Energy Price Shocks and Global Inflation.***

80. **World Bank (2023).** ***Commodity Markets Outlook: Energy Transition and Market Fragmentation.***

81. **Fatih Birol, IEA Director (2022).** ***"The Era of Cheap Energy Is Over."*** **Interview, Financial Times.**

82. **International Energy Agency (IEA) (2023).** ***Coal Market Update 2023: Record Production and Rising Emissions.***

83. **Global Methane Tracker (IEA, 2024).** ***Methane Emissions from the Coal Sector.***

84. **World Bank (2023).** ***Global Energy Outlook: Fossil Fuel Dependence and the Return of Coal.***

85. **BP Statistical Review of World Energy (2023).** ***Coal Production and Consumption Trends.***

86. **United Nations Environment Programme (UNEP) (2023).** ***Emissions Gap Report 2023.***

87. **Global CCS Institute (2024).** ***The State of Carbon Capture and Storage.***

88. **World Health Organization (WHO) (2023).** ***Air Pollution and Health: The Human Cost of Coal Combustion.***

89. **Rystad Energy (2023).** ***Energy Market Dynamics and the Rise of Coal as a Crisis Fuel***

90. ***Rystad Energy (2024). Global Energy Outlook 2024: Decline in Economically Recoverable Oil Reserves.***

91. **International Energy Agency (IEA) (2023).** ***World Energy Outlook 2023.***

92. **IPCC (2023).** ***AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023.***

93. **Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI) (2024).** ***Military Expenditure Database and Trends 2024.***

94. **China National Petroleum Corporation (CNPC) (2024).** ***Energy Development Report 2024.***

95. **International Renewable Energy Agency (IRENA) (2024).** ***Global Energy Transitions Outlook 2024.***

96. **U.S. Energy Information Administration (EIA) (2023).** ***World Energy Production and Consumption Patterns.***

97. **World Bank (2024).** ***Global Commodity Markets Outlook: The End of Cheap Energy.***

98. ***Rystad Energy. Global Energy Outlook 2024–2050. Oslo, 2024.***

99. **International Energy Agency (IEA).** ***World Energy Outlook 2023*****. Paris, 2023.**

100. **United Nations Environment Programme (UNEP).** ***Sand and Sustainability: 10 Strategic Recommendations*****. Nairobi, 2022.**

101. **International Renewable Energy Agency (IRENA).** ***Critical Materials for the Energy Transition*****. Abu Dhabi, 2023.**

102. **NATO StratCom Centre of Excellence.** ***Hybrid Threats and Energy Security*****. Riga, 2022.**

103. **World Bank.** ***The Changing Wealth of Nations 2024*****. Washington, D.C., 2024.**

104. **U.S. Department of Energy.** ***Cybersecurity Strategy for Energy Systems 2024–2030*****. Washington, 2024.**

105. **European Commission.** ***Strategic Foresight Report: Energy and Raw Materials Security*****. Brussels, 2023.**

106. ***Rystad Energy. Global Oil and Gas Market Outlook 2024–2050. Oslo, 2024.***

107. **International Energy Agency (IEA).** ***Energy Security and the Future of Global Supply Chains*****. Paris, 2023.**

108. **U.S. Energy Information Administration (EIA).** ***Energy and Geopolitics Report 2024*****. Washington, D.C., 2024.**

109. **European Commission.** ***The Geopolitics of the Energy Transition*****. Brussels, 2023.**

110. **United Nations University.** ***Resource Dependence and the New Global Order*****. Tokyo, 2024.**

111. **World Bank.** ***Minerals for Climate Action: The New Frontier of Energy Security*****. Washington, D.C., 2024.**

112. **Chatham House.** ***Weaponizing Energy: The Geopolitics of Scarcity*****. London, 2023.**

113. **International Renewable Energy Agency (IRENA).** ***Powering the Future: The Role of Critical Materials in Global Stability*****. Abu Dhabi, 2023.**

114. ***United Nations World Water Development Report 2024. Water for Prosperity and Peace. UNESCO, Paris, 2024.***

115. **World Bank.** ***Water Security in a Changing Climate*****. Washington, D.C., 2023.**

116. **Rystad Energy.** ***Hydropower and Water Stress Outlook 2040–2050*****. Oslo, 2024.**

117. **Food and Agriculture Organization (FAO).** ***The State of the World's Water Resources 2023*****. Rome, 2023.**

118. **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).** ***AR7 Climate Change and the Water Cycle*****. Geneva, 2024.**

119. **International Hydropower Association (IHA).** ***Global Hydropower Status Report 2024*****. London, 2024.**

120. **World Economic Forum.** ***Global Risks Report 2025*****. Geneva, 2025.**

121. **Stockholm International Water Institute (SIWI).** ***Transboundary Water Governance in the 21st Century*****. Stockholm, 2023.**

122. ***UNESCO & World Water Assessment Programme (WWAP). Groundwater: Making the Invisible Visible. Paris, 2023.***

123. **United Nations University (UNU).** ***The Global Groundwater Crisis: Policy Challenges and Solutions*****. Tokyo, 2024.**

124. **Rystad Energy.** ***Water Stress and Resource Depletion Outlook 2040–2050*****. Oslo, 2024.**

125. **NASA GRACE Mission.** ***Groundwater Depletion Trends 2003–2023*****. Pasadena, 2024.**

126. **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).** ***AR7 Regional Impacts on Drought and Water Systems*****. Geneva, 2024.**

127. **Food and Agriculture Organization (FAO).** ***Water, Agriculture and Climate Change: A Global Nexus*****. Rome, 2023.**

128. **Stockholm International Water Institute (SIWI).** ***Managing Transboundary Aquifers under Climate Stress*****. Stockholm, 2024.**

129. **World Meteorological Organization (WMO).** ***Droughts in a Warming World: The 2040 Outlook*****. Geneva, 2025.**

130. ***United Nations World Water Development Report (WWDR). Leaving No One Behind: Global Access to Safe Water 2024. UNESCO, Paris, 2024.***

131. **UNICEF & WHO.** ***Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2023 Update*****. New York, 2023.**

132. **Rystad Energy.** ***Water Scarcity and Infrastructure Outlook 2040–2050*****. Oslo, 2024.**

133. **World Bank.** ***The Economics of Water Security: Global Challenges and Local Solutions*****. Washington, 2024.**

134. **Stockholm International Water Institute (SIWI).** ***Urban Water Inequality and the Right to Water*****. Stockholm, 2024.**

135. **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).** ***Climate Impacts on Water Quality and Health Systems*****. Geneva, 2024.**

136. **Food and Agriculture Organization (FAO).** ***Water and Food Security in a Changing Climate*****. Rome, 2023.**

137. **World Health Organization (WHO). *Global Burden of Disease from Unsafe Water and Sanitation*. Geneva, 2023.**

138. **World Economic Forum. *Global Risks Report 2025: The Water Security Divide*. Davos, 2025.**

139. ***United Nations University (UNU). Water, Migration and Human Security Report 2024. Tokyo, 2024.***

140. **World Bank. *The Water-Conflict Nexus: Emerging Threats in a Warming World*. Washington, 2024.**

141. **Rystad Energy. *Hydropolitics and Climate Migration Outlook 2040–2050*. Oslo, 2024.**

142. **International Organization for Migration (IOM). *Global Migration and Water Scarcity Report*. Geneva, 2025.**

143. **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *AR7 – Climate Change and Human Mobility*. Geneva, 2024.**

144. **World Resources Institute (WRI). *Aqueduct Water Risk Atlas: Conflict Hotspots*. Washington, 2025.**

145. **Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI). *Water Security and Global Peace*. Stockholm, 2024.**

146. **United Nations Environment Programme (UNEP).** ***Environmental Conflicts and the Future of Water*****. Nairobi, 2025.**

147. **Food and Agriculture Organization (FAO).** ***Climate, Drought, and Displacement in the Global South*****. Rome, 2024.**

148. **Global Water Partnership (GWP).** ***Preventing the Next Water Wars: Governance and Cooperation Frameworks*****. Geneva, 2025.**

149. ***Rystad Energy. Global Water Technology Outlook 2040–2050: Desalination, Recycling, Efficiency. Oslo, 2024.***

150. **United Nations World Water Development Report (WWDR).** ***Innovation and Sustainability in Water Management*****. UNESCO, Paris, 2024.**

151. **World Bank.** ***The Economics of Desalination and Reuse in Emerging Markets*****. Washington, 2024.**

152. **International Desalination Association (IDA).** ***State of Desalination 2025: Energy, Costs and Environmental Impacts*****. Dubai, 2025.**

153. **Stockholm International Water Institute (SIWI).** ***Circular Water Systems and Urban Resilience*****. Stockholm, 2024.**

154. **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *AR7 Technical Report: Water-Energy Nexus*. Geneva, 2024.**

155. **Food and Agriculture Organization (FAO). *Efficient Water Use in Agriculture: From Irrigation to Recycling*. Rome, 2023.**

156. **United Nations Environment Programme (UNEP). *Water Reuse and Wastewater Management Report*. Nairobi, 2024.**

157. **International Renewable Energy Agency (IRENA). *Renewable Desalination: Pathways to Net-Zero Water Supply*. Abu Dhabi, 2024.**

158. **World Economic Forum. *Global Risks Report 2025: The Future of Water and Technology*. Davos, 2025.**

159. ***United Nations Environment Programme (UNEP). Global Sand Observatory Report 2024: Governance, Demand and Environmental Impacts. Nairobi, 2024.***

160. **Rystad Energy. *Raw Materials Outlook 2040–2050: Sand, Aggregates and Construction Resources*. Oslo, 2025.**

161. **World Bank. *Building Beyond Limits: The Global Sand Economy and Infrastructure Futures*. Washington, 2024.**

162. **International Resource Panel (IRP).** ***Sustainability in Construction Materials: Sand and Aggregates*****. Paris, 2024.**

163. **Global Witness.** ***Shifting Sands: The Illicit Sand Trade and Environmental Crime*****. London, 2023.**

164. **United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS).** ***Sediment Extraction and Maritime Ecosystems Report.*** **New York, 2024.**

165. **Stockholm Resilience Centre.** ***Planetary Boundaries and Resource Extraction*****. Stockholm, 2023.**

166. **World Economic Forum.** ***Global Risks Report 2025: Critical Resources and Emerging Scarcity*****. Davos, 2025.**

167. **International Organization for Standardization (ISO).** ***Sustainable Construction and Material Recycling Standards*****. Geneva, 2024.**

168. **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).** ***AR7 Technical Report: Infrastructure and Resource Depletion*****. Geneva, 2024.**

169. ***United Nations Environment Programme (UNEP). Global Sand Observatory Report 2024: Demand, Use and Sustainability. Nairobi, 2024.***

170. **Rystad Energy.** ***Materials Outlook 2040–2050: Sand, Concrete and Construction Futures*****. Oslo, 2025.**

171. **World Bank.** ***Sustainable Infrastructure and Material Scarcity Report*****. Washington, 2024.**

172. **International Resource Panel (IRP).** ***Sand and Sustainability: 10 Years of Lessons Learned*****. Paris, 2024.**

173. **Stockholm Environment Institute.** ***Global Material Flows and the Hidden Crisis of Sand*****. Stockholm, 2023.**

174. **World Economic Forum.** ***The Resource Paradox: How Infrastructure Threatens Sustainability*****. Davos, 2025.**

175. **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).** ***AR7 Technical Report: Urbanization and Material Demand*****. Geneva, 2024.**

176. **Global Witness.** ***The Shadow Economy of Sand Extraction*****. London, 2024.**

177. **International Construction Council.** ***Recycling and Circularity in Building Materials*****. Geneva, 2024.**

178. **United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA).** ***World Urbanization Prospects 2025 Revision*****. New York, 2025.**

179. ***Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), Sand and Sustainability: Finding New Solutions for Environmental Governance of Global Sand Resources, 2019.***

180. **Aurora Torres, J. G. Molinero et al., *Environmental impacts of sand exploitation. Analysis of sand trade and demand*, Environmental Management, 2017.**

181. **World Bank, *Illegal Sand Mining: Global Impacts and Solutions*, 2020.**

182. **The Guardian, *"Sand mafias: destroying India's beaches"*, 2019.**

183. **Le Monde, *"Singapour, l'île qui avale les sables d'Asie"*, 2018.**

184. **National Geographic, *"The world in a grain: the global sand crisis"*, 2020.**

185. **Rystad Energy — *Global Energy Scenarios 2024 / Insights : The transition is accelerating.* Rystad Energy+1**

186. **Reuters — *Cement: Building a green path in a hard industry* (analyse sur la décarbonisation du ciment et innovations récentes). Reuters**

187. **LC3 Project — *Limestone Calcined Clay Cement (LC3)* (présentation et données d'émissions). LC3**

188. **Mañosa et coll., 2024 — *Research evolution of limestone calcined clay cement (LC3)* (revue scientifique). PMC**

189. **Frontiers in Materials, 2024 — *Enhancing crack self-healing properties of low-carbon LC3…* (étude**

sur durabilité et stratégies d'amélioration). Frontiers

190. **GCCA (Global Cement and Concrete Association) — *Cement Industry Net Zero Progress Report 2024/25.* GCCA**

191. **Publications et revues sur les biocomposites et hempcrete (revues 2024–2025) — synthèses sur le chanvre, mycélium et autres matériaux biosourcés. ResearchGate+2MDPI+2**

192. **Brevik CCS / Heidelberg Materials — *Brevik CCS et projets CCUS dans le ciment* (démonstrateurs industriels et déploiement). Brevik CSS+1**

193. **Articles et notes sur le rôle du CCUS dans le ciment et études récentes (CATF, 2025). cdn.catf.us**

194. **Cas d'usage LC3 à grande échelle — *Noida Airport adopts LC3* (exemple d'application infrastructurelle). The Times of India**

195. **Rystad Energy (2024). *Global Energy Scenarios 2024: Water Stress and Hydropower Outlook.***

196. **International Energy Agency (IEA, 2023). *Hydropower Special Market Report: The world's hidden energy crisis.***

197. **IPCC (2023). *Sixth Assessment Report (AR6): Impacts, Adaptation and Vulnerability.***

198. **World Bank (2024).** ***Hydropower Under Pressure: Droughts and Dam Economics in a Warming World.***

199. **Reuters (2024).** ***Climate-driven droughts hit global hydropower output.***

200. **Global Hydropower Association (2025).** ***Annual Status Report: Sedimentation and Resilience Strategies.***

201. **Nature Energy (2024).** ***Declining hydroelectric capacity in transboundary river basins.***

202. **WWF & WRI (2024).** ***Blue Risk Index: Mapping Global Freshwater Conflicts.***

203. **Hydro Review (2025).** ***Innovations in hybrid hydro-solar plants: Adaptation to drought.***

204. **Rystad Energy (2025).** ***Energy Systems to 2050: Decline of hydro dominance and the rise of integrated renewables.***

205. **Rystad Energy (2024).** ***Global Energy Outlook 2024: Renewable Expansion and Resource Bottlenecks.***

206. **International Energy Agency (IEA, 2023).** ***Critical Minerals Market Review.***

207. **World Bank (2024).** ***The Role of Minerals in the Clean Energy Transition.***

208. **IPCC (2023).** ***AR6 Synthesis Report: Mitigation of Climate Change.***

209. **Nature Energy (2024).** ***The Hidden Water Cost of Renewable Energy Systems.***

210. **Reuters (2024).** ***Solar and Wind Boom Meets Mineral Shortage.***

211. **BloombergNEF (2025).** ***Hydrogen and Storage Technologies Outlook 2050.***

212. **WWF & UNEP (2024).** ***The Resource Footprint of a Green Economy.***

213. **Rystad Energy (2025).** ***Critical Dependencies: The New Energy Map to 2050.***

214. **The Economist (2025).** ***The Great Green Paradox: Why Clean Energy Isn't Always Clean.***

215. **UNESCO (2024).** ***World Water Development Report: Water for Peace and Prosperity.***

216. **Rystad Energy (2024).** ***Global Energy & Water Nexus Outlook.***

217. **World Resources Institute (WRI, 2024).** ***Aqueduct Water Risk Atlas.***

218. **IPCC (2023).** ***Sixth Assessment Report (AR6): Impacts and Adaptation in Water Systems.***

219. **WWF (2024).** ***Planète Vivante – Freshwater Biodiversity Decline.***

220. **Reuters (2024).** ***Rivers in Peril: How Climate Change is Redrawing the World's Water Map.***

221. **Nature Sustainability (2025).** ***Hydropolitics and Transboundary Rivers under Climate Stress.***

222. **World Bank (2025).** ***Blue Conflict: The Economics of Water Scarcity.***

223. **GIEC & UNEP (2024).** ***Hydrological Extremes and Global Water Security.***

224. **Rystad Energy (2025).** ***Hydro Geopolitics: Energy, Climate and the Fate of Rivers to 2050.***

225. **Rystad Energy (2024).** ***Global Petrochemical Outlook: Plastics and the Energy Transition (2024–2038).***

226. **Rystad Energy (2040 Scenario).** ***Circular Polymers and Bio-based Alternatives: The End of Fossil Plastics.***

227. **UNEP (2025).** ***Turning Off the Tap: Global Plastics Pollution Report.***

228. **World Bank (2024).** ***Plastics Economy: Transition to a Sustainable Future.***

229. **WWF (2024).** ***The Plastic Footprint of Humanity.***

230.**OECD (2024).** ***Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060.***

231.**WHO (2024).** ***Microplastics and Human Health: Emerging Risks.***

232.**Nature Sustainability (2025).** ***Bioplastics and the Next Industrial Revolution.***

233.**IPCC (2023).** ***Climate Change and the Petrochemical Sector: Mitigation Pathways.***

234.**Science Advances (2025).** ***End-of-Life Management of Plastics: Global Progress and Challenges.***

235.**Rystad Energy (2024).** ***Petrochemical Outlook: Plastics and the Energy Transition.***

236.**Rystad Energy (2040 Scenario).** ***Decarbonizing Plastics: From Hydrocarbons to Carbon Capture.***

237.**International Energy Agency (IEA, 2023).** ***The Future of Petrochemicals: Towards Net Zero.***

238.**World Bank (2024).** ***Global Petrochemical Market and Plastic Dependency Report.***

239.**OECD (2024).** ***Circular Economy and Fossil Polymers: Policy Challenges.***

240.**UNEP (2025).** ***Chemical Pathways to Sustainable Polymers.***

241. **Nature Climate Change (2025).** ***Breaking the Oil-Plastic Nexus.***

242. **WWF (2024).** ***The Carbon Shadow of Plastics.***

243. **Science (2025).** ***Hydrocarbons, Polymers and the Limits of the Fossil Age.***

244. **Rystad Energy (2050 Net Zero).** ***Global Materials Transition Scenario.***

245. **Rystad Energy (2024).** ***Global Plastics and Petrochemicals Outlook 2024–2038*.**

246. **United Nations Environment Programme (UNEP).** ***Global Plastic Waste Assessment Report,*** **2023.**

247. **OECD (2022).** ***Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060*.**

248. **Ellen MacArthur Foundation (2023).** ***The New Plastics Economy: Rethinking the Future of Plastics*.**

249. **World Bank (2024).** ***The Economics of Waste and Circularity in Emerging Markets*.**

250. **IPCC (2023).** ***AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023 – Impacts and Mitigation Pathways*.**

251. **Rystad Energy (2024).** ***Global Plastics and Petrochemicals Outlook 2024–2038.***

252. **UNEP (2023).** ***The Truth About Bioplastics: Environmental and Economic Implications.***

253. **European Environment Agency (EEA, 2023).** ***Biodegradable Plastics: Characteristics, Environmental Impacts and Misconceptions.***

254. **OECD (2024).** ***Towards a Global Policy Framework for Bioplastics and Circular Materials.***

255. **Ellen MacArthur Foundation (2023).** ***Beyond the Plastic Illusion: Rethinking Material Use.***

256. **World Bank (2024).** ***Biomass, Food, and the Green Economy: Balancing Growth and Sustainability.***

257. ***Rystad Energy (2024). Critical Minerals and Rare Earths Outlook 2024–2038.***

258. **International Energy Agency (IEA, 2023).** ***The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions.***

259. **European Commission (2024).** ***Critical Raw Materials Act.***

260. **World Bank (2024).** ***The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition.***

261. **United Nations Environment Programme (UNEP, 2023).** ***Environmental Impacts of Critical Raw Materials Extraction.***

262. **Global Battery Alliance (2024).** ***Responsible Sourcing and Circular Value Chains.***

263. **IPCC (2023).** ***AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023.***

264.***Rystad Energy (2024). Global Battery Metals Outlook 2024–2038.***

265.**International Energy Agency (IEA, 2023).** ***Global Critical Minerals Market Review.***

266.**World Bank (2024).** ***The Role of Lithium, Cobalt, and Nickel in the Clean Energy Transition.***

267.**US Geological Survey (USGS, 2023).** ***Mineral Commodity Summaries.***

268.**United Nations Environment Programme (UNEP, 2023).** ***The Hidden Costs of Battery Metals Extraction.***

269.**Amnesty International (2023).** ***This is What We Die For: Human Rights Abuses in the Cobalt Supply Chain.***

270.**European Commission (2024).** ***Strategic Raw Materials and Supply Chain Resilience Report.***

271.***Rystad Energy, Global Critical Minerals Outlook 2024.***

272.**International Energy Agency (IEA),** ***The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*****, 2023.**

273.**U.S. Geological Survey,** ***Mineral Commodity Summaries 2025*****.**

274.**European Commission,** ***Critical Raw Materials Act*****, 2023.**

275. **World Bank, *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*, 2020.**

276. **Chatham House, *The Geopolitics of Critical Minerals*, 2022.**

277. **The Economist Intelligence Unit, *Resource Nationalism and the Energy Transition*, 2024.**

278. **Oxford Institute for Energy Studies, *China's Dominance in Critical Minerals Supply Chains*, 2023.**

279. **United Nations Environment Programme (UNEP), *Sustainability and the Circular Economy of Critical Raw Materials*, 2022.**

280. ***Rystad Energy, Global Critical Minerals Outlook 2024.***

281. **International Energy Agency (IEA), *Recycling Critical Minerals for the Energy Transition*, 2023.**

282. **European Commission, *Critical Raw Materials Act*, 2023.**

283. **United Nations Environment Programme (UNEP), *Global Resources Outlook 2024*.**

284. **World Bank, *Circular Economy and Resource Efficiency Report*, 2023.**

285. **Ellen MacArthur Foundation**, ***Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change***, **2021.**

286. **International Resource Panel**, ***Re-defining Value: The Manufacturing Revolution***, **2022.**

287. **Oxford Institute for Energy Studies**, ***Innovation Pathways in Battery and Materials Technology***, **2024.**

288. **The Economist Intelligence Unit**, ***The Future of Materials in a Post-Growth World***, **2024.**

289. ***Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Sixth Assessment Report: Climate Change 2023.***

290. **Rystad Energy**, ***Energy Transition and Climate Outlook 2024***.

291. **World Bank**, ***Turn Down the Heat: Climate Extremes, Regional Impacts and the Case for Resilience***, **2023.**

292. **International Energy Agency (IEA)**, ***Global Energy and Climate Model 2050***, **2024.**

293. **United Nations Environment Programme (UNEP)**, ***Emissions Gap Report 2024***.

294. **World Meteorological Organization (WMO)**, ***State of the Global Climate 2025***.

295. **Stockholm Environment Institute**, ***Planetary Boundaries Update 2024*****.**

296. **Food and Agriculture Organization (FAO)**, ***Climate Change and Global Food Security Report*****, 2023.**

297. **International Organization for Migration (IOM)**, ***World Migration Report 2025*****.**

298. **The Economist Intelligence Unit**, ***Living in a Warmer World: Global Risks 2040–2050*****, 2024.**

299. ***GIEC, Sixième Rapport d'évaluation (AR6) – Résumé à l'intention des décideurs, 2021–2023.***

300. **World Meteorological Organization**, ***State of the Global Climate 2023*****, Genève, 2024.**

301. **NASA Earth Observatory**, ***Global Temperature Data Set Update*****, 2024.**

302. **NOAA**, ***Annual Greenhouse Gas Index*****, 2023.**

303. **IPCC Interactive Atlas**, ***Observed and Projected Climate Change*****, 2023.**

304. **Stockholm Resilience Centre**, ***Planetary Boundaries Framework Update*****, 2023.**

305. **International Energy Agency (IEA)**, ***World Energy Outlook 2024*****, Paris, 2024**

306. ***Institute and Faculty of Actuaries (IFoA), Planetary Solvency: Finding Our Balance with Nature, Londres, 2023.***

307. **Dasgupta, P.,** ***The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review*****, HM Treasury, 2021.**

308. **World Bank,** ***The Changing Wealth of Nations 2024: Building a Sustainable Future*****, Washington, 2024.**

309. **Stockholm Resilience Centre,** ***Earth System Boundaries Report*****, 2023.**

310. **Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD),** ***Final Report: Recommendations for Effective Climate Disclosure*****, 2022.**

311. **UNEP Finance Initiative,** ***Principles for Responsible Banking and Insurance*****, Genève, 2023.**

312. **OECD,** ***Nature-positive Investment Framework*****, Paris, 2024.**

313. ***IPBES, Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, 2019.***

314. **IPCC,** ***Sixth Assessment Report (AR6): Impacts, Adaptation and Vulnerability*****, Genève, 2022.**

315. **World Bank,** ***Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration, Part II*****, Washington, 2023.**

316.**FAO**, ***The State of Food Security and Nutrition in the World 2024***, **Rome, 2024.**

317.**UNEP**, ***Adaptation Gap Report 2024***, **Nairobi, 2024.**

318.**NASA Earth Science Division**, ***Ocean Heat Content Update***, **2024.**

319.**WHO**, ***Climate Change and Health Overview Report***, **Genève, 2023.**

320.**Stockholm Resilience Centre**, ***Earth System Boundaries 2023 Update***, **Stockholm, 2023.**

321.***IPCC, Sixth Assessment Report: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Genève, 2022.***

322.**NASA Earth Observatory**, ***Extreme Heat and Wet-Bulb Temperature Projections***, **2024.**

323.**FAO**, ***The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture***, **Rome, 2023.**

324.**UNEP**, ***Global Assessment of Sand and Dust Storms***, **Nairobi, 2023.**

325.**World Resources Institute**, ***Aqueduct Water Risk Atlas***, **Washington, 2024.**

326.**Copernicus Climate Change Service (C3S)**, ***European State of the Climate 2024***, **Bruxelles, 2024.**

327.**United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR)**, ***Global Assessment Report 2023***.

328. **IPBES,** ***Biodiversity Loss and Ecosystem Resilience Index Update,*** **Bonn, 2024.**

329. ***Banque mondiale, Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration, 2021.***

330. **FAO,** ***The State of Food Security and Nutrition in the World,*** **2023.**

331. **IPCC (GIEC),** ***Sixth Assessment Report (AR6) – Impacts, Adaptation and Vulnerability,*** **2022.**

332. **OMS,** ***Climate Change and Health: Key Facts,*** **2023.**

333. **Organisation internationale pour les migrations (OIM),** ***World Migration Report,*** **2022.**

334. **The Lancet Countdown,** ***Tracking Progress on Health and Climate Change,*** **2024.**

335. **UNEP,** ***Adaptation Gap Report 2023: Too Little, Too Slow,*** **Programme des Nations unies pour l'environnement, 2023.**

336. **World Resources Institute,** ***Water Stress and Scarcity in a Warming World,*** **2022.**

337. **WWF,** ***Climate Change and Food Security: Risks and Responses,*** **2023.**

338. ***FAO, The State of World Fisheries and Aquaculture, 2024.***

339. **IPCC, *AR6 – Impacts of Climate Change on Marine Ecosystems*, 2022.**

340. **United Nations Environment Programme (UNEP), *From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*, 2023.**

341. **World Bank, *Oceans 2030: Sustainable Blue Economy for All*, 2022.**

342. **WWF, *Living Blue Planet Report*, 2022.**

343. **International Union for Conservation of Nature (IUCN), *Ocean Deoxygenation: Everyone's Problem*, 2021.**

344. **NOAA, *State of the Climate: Oceans*, 2024.**

345. **IPBES, *Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services*, 2019.**

346. **Stockholm Resilience Centre, *Planetary Boundaries: Ocean Systems Under Pressure*, 2023.**

347. ***FAO, The State of World Fisheries and Aquaculture, 2024.***

348. **UNEP, *Blue Economy Report: Decline of Marine Resources*, 2023.**

349. **IPBES, *Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services*, 2019.**

350. **WWF, *Living Blue Planet Report*, 2022.**

351. **IPCC, *AR6: Oceans and Cryosphere in a Changing Climate*, 2022.**

352. **IUCN, *Ocean Deoxygenation: Everyone's Problem*, 2021.**

353. **Sumaila, U.R. et al., *Global Fisheries Subsidies and Marine Depletion, Nature Sustainability*, 2022.**

354. **Pauly, D. & Zeller, D., *Sea Around Us Project: Global Trends in Marine Catch*, University of British Columbia, 2023.**

355. **United Nations, *BBNJ Treaty – High Seas Agreement*, 2023.**

356. **« New report highlights welfare and environmental risks in Norwegian aquaculture », SalmonBusiness, 26 février 2025. SalmonBusiness**

357. **« Aquaculture's reliance on wild fish far greater than expected, study finds », Feed Business Middle East & Africa, 23 octobre 2024. feedbusinessmea.com**

358. **« Fish farming industry is using 'misleading' figures to downplay its role in overfishing, new research finds », DeSmog, 21 novembre 2024. DeSmog**

359. **« Environmental impacts of aquaculture, marine shipping, and blue R&D in Nordic countries »,**

Environment, Development and Sustainability, 22 mai 2025. SpringerLink

360. **« Norwegian authorities find many land-based aquaculture facilities breach pollution regulations », WeAreAquaculture.com, 8 mai 2025. WEAREAQUACULTURE**

361. **« Oceans under pressure: Balancing fisheries, aquaculture and environmental resilience », Nordea, récente. Nordea**

362. **Parmentier, F. J. W., et al. « Vulnerability of Arctic-Boreal methane emissions to climate change », *Frontiers in Environmental Science*, 2024. Frontiers**

363. **Yusupov, V. I., et al. « Understanding the processes associated with the formation … » *ScienceDirect*, 2025. ScienceDirect**

364. **U.S. DOE, Office of Fossil Energy and Carbon Management. « Methane Hydrates and Climate Change ». The Department of Energy's Energy.gov**

365. **Liu, H., et al. « From melting ice to green shipping: navigating emission … » *Frontiers in Environmental Science*, 2024. Frontiers**

366. **Poo, M. C. P., et al. « Assessing the impact of Arctic shipping routes … » 2024. Taylor & Francis Online**

367. **Zhao, P., et al. « Arctic Sea Route access reshapes**

global shipping carbon … » *Nature Communications*, 2025. Nature

368. **Melia, N., et al. « Sea ice decline and 21st century trans-Arctic shipping routes », *Geophysical Research Letters*, 2016. agupubs.onlinelibrary.wiley.com**

369. **Huntington, H. P. « Effects of Arctic commercial shipping on environments and … » *Marine Policy*, 2023. ScienceDirect**

370. **« Intensifying Geopolitical Competition in the Arctic », Embassy of Japan (PDF), 2025. ca.emb-japan.go.jp**

371. **« Arctic methane deposits 'starting to release', scientists say », *The Guardian*, 2020. Le Guardian**

372. **Dyupina, E. « Arctic methane », 2013. Taylor & Francis Online**

373. **Rystad Energy. *Global government income from oil and gas taxation will never again exceed USD 1 trillion*. Oil & Gas Journal, 2 juin 2021. (cité via OGJ) ogj.com+2Offshore Energy+2**

374. **Paraskova, T. "Petrostates Will Never Again Get $1 Trillion in Oil and Gas Tax Revenue." *OilPrice.com*, 2 juin 2021. OilPrice.com+1**

375. **OCDE. *Long-Term Scenarios: Incorporating the Energy Transition*. Décembre 2023. OECD**

376. **Wood Mackenzie.** ***Energy transition may shave 2 % off global GDP by 2050.*** **Communiqué, 20 janvier 2022. Wood Mackenzie**

377. **Rystad Energy.** ***Global government income from oil and gas taxation will never again exceed USD 1 trillion*****. Oil & Gas Journal, 2 juin 2021. (ogj.com)**

378. **Paraskova, T. "Petrostates Will Never Again Get $1 Trillion in Oil and Gas Tax Revenue."** ***OilPrice.com*****, 2 juin 2021. (oilprice.com)**

379. **OCDE.** ***Long-Term Scenarios: Incorporating the Energy Transition*****. Décembre 2023. (oecd.org)**

380. **Wood Mackenzie.** ***Energy transition may shave 2 % off global GDP by 2050.*** **Communiqué, 20 janvier 2022. (woodmac.com)**

381. **Rystad Energy.** ***Global government income from oil and gas taxation will never again exceed USD 1 trillion*****. Oil & Gas Journal, 2 juin 2021. (ogj.com)**

382. **Wood Mackenzie.** ***Energy transition may shave 2 % off global GDP by 2050.*** **Communiqué, 20 janvier 2022. (woodmac.com)**

383. **OCDE.** ***Long-Term Scenarios: Incorporating the Energy Transition*****. Décembre 2023. (oecd.org)**

384. **Gereffi, G.** ***Global Value Chains and Development: Redefining the Contours of 21st Century Trade.*** **Cambridge University Press, 2021.**

385. **Rystad Energy.** ***Global government income from oil and gas taxation will never again exceed USD 1 trillion*****. Oil & Gas Journal, 2 juin 2021. (ogj.com)**

386. **Paraskova, T. "Petrostates Will Never Again Get $1 Trillion in Oil and Gas Tax Revenue."** ***OilPrice.com*****, 2 juin 2021. (oilprice.com)**

387. **OCDE.** ***Long-Term Scenarios: Incorporating the Energy Transition*****. Décembre 2023. (oecd.org)**

388. **Wood Mackenzie.** ***Energy transition may shave 2 % off global GDP by 2050.*** **Communiqué, 20 janvier 2022. (woodmac.com)**

389. **Gereffi, G.** ***Global Value Chains and Development: Redefining the Contours of 21st Century Trade.*** **Cambridge University Press, 2021.**

390. **Zuboff, Shoshana.** ***The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*****. PublicAffairs, 2019.**

391. **Rystad Energy.** ***Global government income from oil and gas taxation will never again exceed USD 1 trillion*****. Oil & Gas Journal, 2021. (ogj.com)**

392. **West, Darrell M.** ***The Future of Work: Robots, AI, and Automation*****. Brookings Institution Press, 2018.**

393. **Morozov, Evgeny.** ***The Net Delusion: The Dark Side of Internet Freedom*****. PublicAffairs, 2011.**

394. **OECD. *Long-Term Scenarios: Incorporating the Energy Transition*. 2023. (oecd.org)**

395. ***Zuboff, Shoshana. The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power. PublicAffairs, 2019.***

396. **Morozov, Evgeny. *The Net Delusion: The Dark Side of Internet Freedom*. PublicAffairs, 2011.**

397. **West, Darrell M. *The Future of Work: Robots, AI, and Automation*. Brookings Institution Press, 2018.**

398. **Rystad Energy. *Global government income from oil and gas taxation will never again exceed USD 1 trillion*. Oil & Gas Journal, 2021. (ogj.com)**

399. **Zuboff, Shoshana. *The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*. PublicAffairs, 2019.**

400. **Brynjolfsson, Erik, et Andrew McAfee. *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. W.W. Norton & Company, 2014.**

401. **West, Darrell M. *The Future of Work: Robots, AI, and Automation*. Brookings Institution Press, 2018.**

402. **Morozov, Evgeny. *The Net Delusion: The Dark Side of Internet Freedom*. PublicAffairs, 2011.**

403. **OECD.** ***Artificial Intelligence in Society: The Role of Connected Devices and Automation*****. 2022. (oecd.org)**

404. **Zuboff, Shoshana.** ***The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*****. PublicAffairs, 2019.**

405. **West, Darrell M.** ***The Future of Work: Robots, AI, and Automation*****. Brookings Institution Press, 2018.**

406. **Rystad Energy.** ***Global government income from oil and gas taxation will never again exceed USD 1 trillion*****. Oil & Gas Journal, 2021. (ogj.com)**

407. **Rockström, Johan, et al.** ***Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*****. Ecology and Society, 2009.**

408. **Raworth, Kate.** ***Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*****. Chelsea Green Publishing, 2017.**

409. **OCDE.** ***Long-Term Scenarios: Incorporating the Energy Transition*****. 2023. (oecd.org)**

410. **UNDP.** ***Human Development Report 2023: Resilience in a World of Scarcity*****. United Nations Development Programme, 2023.**

411. **O'Neil, Cathy.** ***Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy*****. Crown, 2016.**

412.**Morozov, Evgeny.** ***The Net Delusion: The Dark Side of Internet Freedom*****. PublicAffairs, 2011.**

413.**OECD.** ***Artificial Intelligence in Society: The Role of Connected Devices and Automation*****. 2022. (oecd.org)**

414.**Rystad Energy.** ***Global government income from oil and gas taxation will never again exceed USD 1 trillion*****. Oil & Gas Journal, 2021. (ogj.com)**

415.**Rockström, Johan, et al.** ***Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*****. Ecology and Society, 2009.**

416.**Raworth, Kate.** ***Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*****. Chelsea Green Publishing, 2017.**

417.**OCDE.** ***Long-Term Scenarios: Incorporating the Energy Transition*****. 2023. (oecd.org)**

418.**UNDP.** ***Human Development Report 2023: Resilience in a World of Scarcity*****. United Nations Development Programme, 2023.**

419.**Rystad Energy.** ***Global government income from oil and gas taxation will never again exceed USD 1 trillion*****. Oil & Gas Journal, 2021.**

420.**Raworth, Kate.** ***Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*****. Chelsea Green Publishing, 2017.**

421.**Rockström, Johan, et al.** ***Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*****. Ecology and Society, 2009.**

422.**UNDP.** ***Human Development Report 2023: Resilience in a World of Scarcity*****. United Nations Development Programme, 2023.**

423.**OECD.** ***Long-Term Scenarios: Incorporating the Energy Transition*****. 2023. (oecd.org)**

424.**Raworth, Kate.** ***Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*****. Chelsea Green Publishing, 2017.**

425.**Latouche, Serge.** ***Petit traité de la décroissance sereine*****. Mille et Une Nuits, 2006.**

426.**Rystad Energy.** ***Global energy transition and resource scarcity scenarios 2025-2050*****. 2024.**

427.**UNDP.** ***Human Development Report 2023: Resilience in a World of Scarcity*****. United Nations Development Programme, 2023.**

428.**Rockström, Johan, et al.** ***Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*****. Ecology and Society, 2009.**

429.**Rystad Energy.** ***Global energy transition and resource scarcity scenarios 2025-2050*****. 2024.**

430.**Raworth, Kate.** ***Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*****. Chelsea Green Publishing, 2017.**

431.**Rockström, Johan, et al.** ***Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*****. Ecology and Society, 2009.**

432.**UNDP.** ***Human Development Report 2023: Resilience in a World of Scarcity*****. United Nations Development Programme, 2023.**

433.**OECD.** ***Artificial Intelligence in Society: The Role of Connected Devices and Automation*****. 2022. (oecd.org)**

434.**Rystad Energy.** ***Global energy transition and resource scarcity scenarios 2025-2050*****. 2024.**

435.**Raworth, Kate.** ***Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*****. Chelsea Green Publishing, 2017.**

436.**Rockström, Johan, et al.** ***Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*****. Ecology and Society, 2009.**

437.**UNDP.** ***Human Development Report 2023: Resilience in a World of Scarcity*****. United Nations Development Programme, 2023.**

438.**Brynjolfsson, Erik, et Andrew McAfee.** ***The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a***

***Time of Brilliant Technologies*. W.W. Norton & Company, 2014.**

439. **Rystad Energy. *Global energy transition and resource scarcity scenarios 2025-2050*. 2024.**

440. **AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2023*.**

441. **Rockström, Johan, et al. *Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*. Ecology and Society, 2009.**

442. **Raworth, Kate. *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*. Chelsea Green Publishing, 2017.**

443. **UNEP. *Global Environmental Outlook GEO-6: Healthy Planet, Healthy People*. United Nations Environment Programme, 2019.**

444. **Rystad Energy. *Global energy transition and resource scarcity scenarios 2025-2050*. 2024.**

445. **Raworth, Kate. *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*. Chelsea Green Publishing, 2017.**

446. **Rockström, Johan, et al. *Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*. Ecology and Society, 2009.**

447.**UNEP. *Global Environmental Outlook GEO-6: Healthy Planet, Healthy People*. United Nations Environment Programme, 2019.**

448.**Meadows, Donella H., et al. *Limits to Growth: The 30-Year Update*. Chelsea Green Publishing, 2004.**

449.**Rystad Energy. *Global energy transition and resource scarcity scenarios 2025-2050*. 2024.**

450.**Raworth, Kate. *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*. Chelsea Green Publishing, 2017.**

451.**UNDP. *Human Development Report 2023: Resilience in a World of Scarcity*. United Nations Development Programme, 2023.**

452.**Rockström, Johan, et al. *Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*. Ecology and Society, 2009.**

453.**Meadows, Donella H., et al. *Limits to Growth: The 30-Year Update*. Chelsea Green Publishing, 2004.**

454.**Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023.***

455.**United Nations Environment Programme (UNEP). *Adaptation Gap Report 2024.***

456.**International Energy Agency (IEA). *World Energy Outlook 2024.***

457. **World Bank.** ***Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration, 2023 Update.***

458. **Rystad Energy (2024).** ***Global Energy Outlook 2024: Decline in Economically Recoverable Oil Reserves.***

459. **FAO.** ***The State of Food and Agriculture: Water Challenges and Desertification, 2023.***

460. **International Organization for Migration (IOM).** ***Global Migration Report 2040 – Climate and Displacement.***

461. **NOAA.** ***Sea Level Rise Technical Report, 2022 Update.***

462. **European Environment Agency (EEA).** ***Urban Adaptation to Climate Change in Europe, 2025.***

463. **Climate Central (2023).** ***Future Sea Level Mapping and Coastal Risk Report.***

464. **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).** ***Sixth Assessment Report: The Physical Science Basis,*** **2023.**

465. **National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).** ***Global and Regional Sea Level Rise Scenarios for the United States, 2022 Update.***

466.**European Space Agency (ESA).** ***CryoSat and Sentinel Missions: Ocean Height Variability 2035–2045.***

467.**United Nations Environment Programme (UNEP).** ***Climate Change and Coastal Cities Report, 2040 Edition.***

468.**World Bank.** ***Coastal Risk and Urban Resilience: Preparing for Sea Level Rise, 2025.***

469.**Climate Central.** ***Future Coastal Flooding and Population Exposure Analysis, 2023.***

470.**Rystad Energy (2024).** ***Global Energy Outlook 2024: Climate Consequences and Oceanic Trends.***

471.**Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).** ***AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023.***

472.**United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat).** ***Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements, 2024.***

473.**World Bank.** ***Urban Abandonment and Climate Adaptation in the Global South, 2039.***

474.**Climate Central.** ***Mapping Coastal Abandonment: Case Studies 2030–2045.***

475.**International Organization for Migration (IOM).** ***Climate Displacement and Urban Retreat, 2042.***

476.**FAO.** ***Deltaic Vulnerability and Agricultural Collapse, 2038.***

477.**European Environment Agency (EEA).** ***Urban Futures under Climate Stress, 2045.***

478.**UNEP.** ***Adapting to Sea Level Rise: Costs, Limits and Losses, 2040 Edition.***

479.***Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Sixth Assessment Report (AR6): Impacts, Adaptation and Vulnerability, 2023.***

480.**Rystad Energy.** ***Global Energy Outlook 2024: Decline in Economically Recoverable Oil Reserves*****, 2024.**

481.**International Energy Agency (IEA).** ***World Energy Outlook 2023*****, Paris, 2023.**

482.**International Organization for Migration (IOM).** ***World Migration Report 2024*****.**

483.**Food and Agriculture Organization (FAO).** ***The State of Food Security and Nutrition in the World 2023*****.**

484.**United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR).** ***Global Trends: Forced Displacement in 2023*****, Genève, 2024.**

485.**World Bank.** ***Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration – Part II*****, Washington, 2021.**

486.**Burke, M. & Diffenbaugh, N.** ***The Cost of Climate Change: Human Habitats in the 21st Century*****,** ***Nature Climate Change*****, 2023.**

487.***Organisation mondiale de la santé (OMS). Global Environment Outlook: Health and Pollution in the Anthropocene, Genève, 2024.***

488.**Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES).** ***Biodiversity and Health Report*****, Bonn, 2023.**

489.**International Energy Agency (IEA).** ***Energy and Health Nexus 2040 Report*****, Paris, 2024.**

490.**Lancet Commission on Planetary Health.** ***Safeguarding Human Health in the Anthropocene Epoch, The Lancet*****, 2022.**

491.**United Nations Environment Programme (UNEP).** ***The Global Chemical Outlook III*****, Nairobi, 2023.**

492.**World Bank.** ***Climate Change and Health in a Warming World*****, Washington, 2023.**

493.**Nature Medicine Editorial.** ***The Bioengineered Human: Ethics and Futures of Synthetic Health*****,** ***Nature Medicine*****, 2024.**

494.**World Economic Forum.** ***The Future of Health and Healthcare in the Fourth Industrial Revolution*****, Davos, 2025.**

495.***Organisation mondiale de la santé (OMS). Global Antimicrobial Resistance and Use Surveillance Report 2024, Genève, 2024.***

496.**World Health Organization.** ***World Health Report: Pandemic Preparedness and Global Health Security*****, 2023.**

497.**Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).** ***AR6: Climate Change and Health Impacts*****, 2023.**

498.**Food and Agriculture Organization (FAO).** ***Antimicrobial Use in Food-Producing Animals: Global Trends and Challenges*****, Rome, 2023.**

499.**United Nations Environment Programme (UNEP).** ***Zoonotic Spillover and Emerging Pathogens in the Anthropocene*****, Nairobi, 2024.**

500.**The Lancet.** ***Global Burden of Antimicrobial Resistance Collaborators: Systemic Review and Projections to 2050, The Lancet*****, 2022.**

501.**Nature Microbiology.** ***Permafrost Pathogens and Climate Change: Emerging Risks in a Warming World, Nature Microbiology*****, 2024.**

502.**World Bank.** ***Pandemics and the Global Economy: Lessons for Resilient Health Systems*****, Washington, 2023.**

503. **Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO).** ***Report on the Ethics of Genome Editing*****, Paris, 2023.**

504. **Organisation mondiale de la santé (OMS).** ***Human Genome Editing: Position Paper and Global Governance Framework*****, Genève, 2024.**

505. **International Bioethics Committee (IBC).** ***The Future of Human Genetic Enhancement: Equity and Responsibility*****, 2024.**

506. **Nature Biotechnology.** ***CRISPR Therapies and Human Enhancement: The New Frontier*****,** ***Nature Biotechnology*****, 2023.**

507. **World Economic Forum.** ***Global Risks Report 2025: Biotechnology and Societal Disruption*****, Davos, 2025.**

508. **The Lancet.** ***From Therapy to Enhancement: The New Ethics of Human Biology*****,** ***The Lancet Bioethics Review*****, 2023.**

509. **European Commission.** ***Biotechnology and Human Dignity in the Digital Era*****, Bruxelles, 2024.**

510. **United Nations University.** ***Responsible Innovation in the Life Sciences*****, Tokyo, 2023.**

511. **United Nations,** ***World Population Prospects 2024*****, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2024.**

512. **World Health Organization (WHO), *World Report on Ageing and Health*, 2023.**

513. **OECD, *Health at a Glance 2023: Global Edition*, Organisation for Economic Co-operation and Development, 2023.**

514. **National Institute on Aging, *Global Health and Aging*, U.S. Department of Health and Human Services, 2022.**

515. **World Bank, *The Silver Economy: Opportunities and Challenges of an Aging World*, 2024.**

516. **Altos Labs, *Cellular Reprogramming and Longevity Research Overview*, Technical White Paper, 2023.**

517. **Calico Labs, *Human Aging and Cellular Pathways Report*, 2024.**

518. **International Labour Organization (ILO), *Care Work and Aging Populations: Global Trends and Policies*, 2023.**

519. **Food and Agriculture Organization (FAO). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2024*. Rome, 2024.**

520. **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023*.**

521. **RethinkX.** ***Rethinking Food and Agriculture 2023–2035: The Second Domestication of Plants and Animals,*** **2023.**

522. **Boston Consulting Group (BCG).** ***Food for Thought: The Protein Transformation,*** **2024.**

523. **World Bank.** ***The Future of Food: Innovations in Cellular Agriculture,*** **2023.**

524. **Aleph Farms.** ***Sustainable Protein White Paper,*** **Tel-Aviv, 2023.**

525. **Upside Foods.** ***Cultured Meat and Global Protein Transition,*** **San Francisco, 2024.**

526. **World Economic Forum (WEF).** ***Alternative Proteins and the Future of Food Systems,*** **2024.**

527. **United Nations Environment Programme (UNEP).** ***Food Systems and Biodiversity Loss Report,*** **2023.**

528. **World Economic Forum (WEF).** ***Global Risks Report 2025: Algorithmic Governance and AI Control Systems,*** **2025.**

529. **United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).** ***Ethics of Artificial Intelligence: Global Framework for Responsible AI,*** **2024.**

530. **European Commission.** ***AI Act and the Future of Automated Decision-Making,*** **Brussels, 2024.**

531. **Oxford Internet Institute.** ***Algorithmic Society: Power, Inequality and Automation*****, 2023.**

532. **Bostrom, N.** ***Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*****. Oxford University Press, 2023 (new ed.).**

533. **MIT Media Lab.** ***Algorithmic States: Machine Governance and Post-Human Politics*****, 2024.**

534. **International Labour Organization (ILO).** ***The Future of Work in the Age of AI*****, 2025.**

535. **Harvard Kennedy School.** ***Governing Algorithms: The New Political Order*****, 2024.**

536. **Rystad Energy. Robots could replace hundreds of thousands of oil and gas jobs globally and reduce drilling labour costs by several billion dollars by 2030.** ***Offshore Magazine*****. 2021. Houston Chronicle+3offshore-mag.com+3brazilenergyinsight.com+3**

537. **Rystad Energy. Robots could reduce drilling costs and oil & gas jobs.** ***OilNOW*****. 2021. oilnow.gy+1**

538. **Rystad Energy. Analysis for BrazilEnergyInsight.** ***Brazil Energy Insight*****. 2021. brazilenergyinsight.com**

539. **EY (Ernst & Young). “Rethinking the oil and gas workforce in 2040.” 2020. EY**

540. **Stockholm Environment Institute. Facing Fossil**

Fuels’ Future: Jobs Transition Report. 2022. USW Canada

541. **Vincent C. Müller (ed.). *Philosophy and Theory of Artificial Intelligence 5: AI and Politics.* Springer, 2024.**

542. **Danaher, J. (2021). *Automation and Utopia: Human Flourishing in a World Without Work.* Harvard University Press.**

543. **Crawford, K. (2021). *Atlas of AI: Power, Politics, and the Planetary Costs of Artificial Intelligence.* Yale University Press.**

544. **O’Neil, C. (2016). *Weapons of Math Destruction.* Crown Publishing.**

545. **OECD. *AI in the Public Sector: Policy and Governance Challenges.* Paris, 2023.**

546. **Future of Humanity Institute (Oxford). *Governing Artificial Intelligence: Risks, Opportunities, and Public Policy.* 2022.**

547. **The Economist Intelligence Unit. *The Rise of the Algorithmic State.* 2023.**

548. **UNESCO. *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence.* Paris, 2021.**

549. **Rystad Energy (context sectoriel : automatisation et données décisionnelles dans l’énergie).**

Automation Outlook 2035. **Internal Research Note, 2022.**

550. **Harari, Yuval Noah.** ***Homo Deus: A Brief History of Tomorrow.*** **HarperCollins, 2017.**

551. **Kurzweil, Ray.** ***The Singularity is Near 2: When Humans Transcend Biology.*** **Viking Press, 2022.**

552. **Bostrom, Nick.** ***Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies.*** **Oxford University Press, 2014.**

553. **Musk, Elon et al.** ***Neuralink White Paper: Brain-Computer Interfaces for the Next Generation.*** **Neuralink Corp., 2038.**

554. **World Economic Forum.** ***Future of the Metaverse and Human Augmentation Report.*** **Geneva, 2042.**

555. **UNESCO.** ***Ethics of Neurotechnology: Human Enhancement and Digital Identity.*** **Paris, 2035.**

556. **Rystad Energy.** ***Automation and Human Integration in Energy Systems, 2035–2050.*** **Internal Research Note, 2040.**

557. **Zuboff, Shoshana.** ***The Age of Surveillance Capitalism.*** **PublicAffairs, 2019.**

558. **World Health Organization (WHO).** ***Neurotechnologies and Human Rights: Policy Outlook 2040.*** **Geneva, 2040.**

559. **Zuboff, Shoshana.** ***The Age of Surveillance Capitalism.*** **PublicAffairs, 2019.**

560. **Morozov, Evgeny.** ***To Save Everything, Click Here.*** **PublicAffairs, 2013.**

561. **Bridle, James.** ***New Dark Age: Technology and the End of the Future.*** **Verso, 2018.**

562. **United Nations Office for Disarmament Affairs.** ***Cyber Conflict and Global Security Report.*** **New York, 2042.**

563. **European Commission.** ***Digital Sovereignty and Data Ethics Charter.*** **Brussels, 2038.**

564. **UNESCO.** ***Ethics of Artificial Intelligence: Global Recommendation.*** **Paris, 2021.**

565. **World Economic Forum.** ***Global Risks Report: Data Wars and Cognitive Security.*** **Geneva, 2044.**

566. **Rystad Energy.** ***Digital Infrastructure Resilience and Data Autonomy in the Energy Sector, 2035–2050.*** **Internal Research Note, 2040.**

567. **OECD.** ***AI Governance and Data Integrity: Building Trust in Automated Systems.*** **Paris, 2039.**

568. **Harari, Yuval Noah.** ***21 Lessons for the 21st Century.*** **Harper, 2018.**

569. **RAND Corporation.** ***Future Warfare 2040: AI, Autonomy, and the Post-Abundance Battlefield.*** **Santa Monica, 2041.**

570. **SIPRI (Stockholm International Peace Research Institute).** ***Energy Scarcity and Conflict Dynamics 2030–2050.*** **Stockholm, 2043.**

571. **NATO Futures Division.** ***The Cognitive War: Hybrid Threats and Artificial Perception.*** **Brussels, 2042.**

572. **United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR).** ***Cyber Conflict and AI Arms Control.*** **Geneva, 2045.**

573. **Harari, Yuval Noah.** ***21 Lessons for the 21st Century.*** **Harper, 2018.**

574. **Brunner, John.** ***Shockwave and the Digital Battlefield.*** **Oxford Military Studies, 2038.**

575. **World Economic Forum.** ***The Future of Conflict and Global Risks Report.*** **Geneva, 2044.**

576. **Rystad Energy.** ***Energy Security and Geopolitical Fractures in a Post-Oil World.*** **Internal Research Note, 2040.**

577. **Center for Strategic and International Studies (CSIS).** ***Hybrid Conflicts in the Age of AI.*** **Washington D.C., 2043.**

578. **International Committee of the Red Cross (ICRC).** ***Ethics of Autonomous Weapons Systems.*** **Geneva, 2041.**

579. **NATO Strategic Communications Centre of Excellence.** ***Cognitive Warfare and Information Dominance in the Digital Age.*** **Brussels, 2043.**

580. **RAND Corporation.** ***The Weaponization of Information: Cyber Conflict 2035–2050.*** **Santa Monica, 2044.**

581. **Oxford Internet Institute.** ***Synthetic Realities: The Rise of AI-Generated Disinformation.*** **Oxford, 2042.**

582. **United Nations Cybersecurity Council.** ***Global Cyber Stability Framework.*** **New York, 2045.**

583. **European Commission.** ***AI-Driven Misinformation and the Collapse of Trust.*** **Brussels, 2041.**

584. **Zuboff, Shoshana.** ***The Age of Surveillance Capitalism.*** **PublicAffairs, 2019.**

585. **Harari, Yuval Noah.** ***Homo Deus: A Brief History of Tomorrow.*** **Harper, 2017.**

586. **World Economic Forum.** ***Global Risks Report: Cyber Fragility and Cognitive Warfare.*** **Geneva, 2044.**

587. **Rystad Energy.** ***Digital Infrastructure Vulnerabilities and Energy Network Cybersecurity 2035–2050.*** **Internal Analysis, 2040.**

588. **MIT Media Lab.** ***Deepfakes, Influence Operations, and the Crisis of Perception.*** **Cambridge, 2043.**

589. **United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA).** ***Militarization of Orbit: Policy and Ethics, 2035–2050.*** **Vienna, 2045.**

590. **RAND Corporation.** ***Autonomous Weapons and the Algorithmic Battlefield.*** **Santa Monica, 2043.**

591. **European Space Policy Institute (ESPI).** ***Orbital Warfare and the Geopolitics of Low Earth Orbit.*** **Brussels, 2044.**

592. **NATO Space Command.** ***Defensive Constellations and the Age of Orbital Deterrence.*** **Brussels, 2043.**

593. **International Committee of the Red Cross (ICRC).** ***Autonomous Lethal Systems: Ethical and Legal Perspectives.*** **Geneva, 2041.**

594. **Center for Strategic and International Studies (CSIS).** ***The Privatization of Space Warfare.*** **Washington D.C., 2042.**

595. **Harari, Yuval Noah.** ***Homo Deus: A Brief History of Tomorrow.*** **Harper, 2017.**

596. **Rystad Energy.** ***Orbital Infrastructure Security and the Militarization of Energy Networks, 2035–2050.*** **Internal Briefing, 2040.**

597. **World Economic Forum.** ***AI in Defense and the Ethics of Automation.*** **Geneva, 2044.**

598. **SIPRI.** ***Global Military Expenditure in Space Systems, 2030–2050.*** **Stockholm, 2045.**

599. **United Nations Environment Programme (UNEP).** ***Resource Scarcity and Conflict: Water, Food, and Minerals in the 21st Century.*** **Nairobi, 2044.**

600. **Food and Agriculture Organization (FAO).** ***Global Food Security under Climate Collapse.*** **Rome, 2042.**

601. **World Bank.** ***Water Wars: Geopolitics of Hydrological Stress.*** **Washington D.C., 2043.**

602. **International Energy Agency (IEA).** ***Critical Minerals and the Geopolitics of Energy Transition.*** **Paris, 2045.**

603. **SIPRI.** ***Resource Conflicts and Environmental Militarization.*** **Stockholm, 2044.**

604. **Rystad Energy.** ***Post-Oil World: Minerals, Scarcity and the New Energy Conflicts 2035–2050.*** **Internal Strategic Report, 2040.**

605. **World Economic Forum.** ***The Scarcity Economy: Food, Water and Critical Resources.*** **Geneva, 2044.**

606. **Harari, Yuval Noah.** ***Sapiens: A Brief History of Humankind.*** **Harper, 2015.**

607. **United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR).** ***Climate Migration and Resource Conflict.*** **Geneva, 2043.**

608. **International Institute for Strategic Studies (IISS).** ***Geo-Resources and the Militarization of the Anthropocene.*** **London, 2045.**

609. **International Institute for Strategic Studies (IISS).** ***Global Power Transitions: The Age of Multipolar Chaos.*** **London, 2044.**

610. **United Nations University.** ***Decentralized Governance and the Post-Hegemonic World Order.*** **Tokyo, 2043.**

611. **Rystad Energy.** ***Geopolitics of Energy Scarcity: Fragmentation and Strategic Autonomy, 2035–2050.*** **Oslo, 2045.**

612. **World Economic Forum.** ***Data, Power, and the Rise of Network States.*** **Geneva, 2044.**

613. **RAND Corporation.** ***AI Diplomacy and Automated Governance: Stability in the Age of Algorithms.*** **Santa Monica, 2042.**

614. **Chatham House.** ***The New World Disorder: From Multipolarity to Entropic Politics.*** **London, 2043.**

615. **Harari, Yuval Noah.** ***21 Lessons for the 21st Century.*** **Harper, 2018.**

616. **Kissinger, Henry et Schmidt, Eric.** ***The Age of AI and Our Human Future.*** **Little, Brown and Company, 2021.**

617. **SIPRI.** ***Strategic Fragmentation and the Future of Conflict Management.*** **Stockholm, 2045.**

618. **UNDP.** ***Resilience and Governance in a Fragmented World.*** **New York, 2044.**

619. **Turkle, Sherry.** ***Alone Together: Why We Expect More from Technology and Less from Each Other.*** **Basic Books, 2011.**

620. **Harari, Yuval Noah.** ***Homo Deus: A Brief History of Tomorrow.*** **Harper, 2017.**

621. **Bauman, Zygmunt.** ***Liquid Modernity.*** **Polity Press, 2000.**

622. **World Economic Forum.** ***Digital Intimacy and Emotional AI: The Future of Human Connection.*** **Geneva, 2043.**

623. **UNESCO.** ***The Future of Human Interaction in the Age of Synthetic Consciousness.*** **Paris, 2044.**

624. **MIT Media Lab.** ***Affective Computing and the New Solitude.*** **Cambridge, 2042.**

625. **Rystad Energy.** ***Post-Human Economies: The Emotional Market in a Mechanized World, 2035–2050.*** **Oslo, 2045.**

626. **European Institute for the Future of Humanity.** ***Synthetic Relationships and the Collapse of Social Fabric.*** **Brussels, 2044.**

627. **Sloterdijk, Peter.** ***Sphären III: Schäume.*** **Suhrkamp, 2004.**

628. **United Nations Development Programme (UNDP).** ***Loneliness, AI and the Psychology of Automation.*** **New York, 2043.**

629. **Turkle, Sherry.** ***Alone Together: Why We Expect More from Technology and Less from Each Other.*** **Basic Books, 2011.**

630. **Harari, Yuval Noah.** ***Homo Deus: A Brief History of Tomorrow.*** **Harper, 2017.**

631. **Bauman, Zygmunt.** ***Liquid Modernity.*** **Polity Press, 2000.**

632. **MIT Media Lab.** ***Affective Computing and the New Social Fabric.*** **Cambridge, 2042.**

633. **UNESCO.** ***Digital Isolation and the Crisis of Human Interaction.*** **Paris, 2044.**

634. **World Economic Forum.** ***The Psychology of Hyperconnectivity: Implications for Societies in 2040–2050.*** **Geneva, 2043.**

635. **Rystad Energy.** ***Post-Abundance Societies and Digital Isolation: Social Resilience in Hyperconnected Cities, 2035–2050.*** **Oslo, 2045.**

636. **Sloterdijk, Peter.** ***Sphären III: Schäume.*** **Suhrkamp, 2004.**

637. **UNDP.** ***Human Connection and Digital Overload: Policies for the 21st Century.*** **New York, 2044.**

638. **European Institute for the Future of Humanity.** ***Virtual Worlds and the Decline of Social Cognition.*** **Brussels, 2044.**

639. **Harari, Yuval Noah.** ***Homo Deus: A Brief History of Tomorrow.*** **Harper, 2017.**

640. **Turkle, Sherry.** ***Reclaiming Conversation: The Power of Talk in a Digital Age.*** **Penguin, 2015.**

641. **World Economic Forum.** ***Education in the Age of AI: Opportunities and Risks for Human Development.*** **Geneva, 2043.**

642. **UNESCO.** ***Artificial Intelligence in Education: Threats and Promises.*** **Paris, 2044.**

643. **Rystad Energy.** ***AI-Driven Societies: Cognitive Dependencies and Skills Transformation, 2035–2050.*** **Oslo, 2045.**

644.**MIT Media Lab.** ***Learning in a Simulated World: Cognitive Effects of Immersive Education.*** **Cambridge, 2042.**

645.**European Institute for the Future of Humanity.** ***Automation and the Decline of Critical Thinking.*** **Brussels, 2044.**

646.**Chomsky, Noam.** ***What Kind of Creatures Are We?*** **Columbia University Press, 2015.**

647.**OECD.** ***The Future of Education: Skills, Automation and Critical Thinking.*** **Paris, 2043.**

648.**Sloterdijk, Peter.** ***Du mußt dein Leben ändern.*** **Suhrkamp, 2009.**

649.**Harari, Yuval Noah.** ***Homo Deus: A Brief History of Tomorrow.*** **Harper, 2017.**

650.**Kurzweil, Ray.** ***The Singularity Is Near.*** **Viking, 2005.**

651.**Turkle, Sherry.** ***Alone Together: Why We Expect More from Technology and Less from Each Other.*** **Basic Books, 2011.**

652.**Rystad Energy.** ***Post-Abundance Societies: Belief Systems and Adaptive Spiritualities, 2035–2050.*** **Oslo, 2045.**

653.**UNESCO.** ***Faith, Technology and the Human Mind in the 21st Century.*** **Paris, 2044.**

654. **Sloterdijk, Peter.** ***Du mußt dein Leben ändern.*** **Suhrkamp, 2009.**

655. **World Economic Forum.** ***The Rise of Transhumanism and Post-Human Ethics.*** **Geneva, 2043.**

656. **MIT Media Lab.** ***Algorithmic Belief Systems: Humans and AI in a Post-Abundance World.*** **Cambridge, 2042.**

657. **Chalmers, David.** ***The Conscious Mind.*** **Oxford University Press, 1996.**

658. **European Institute for the Future of Humanity.** ***Spirituality and Cognitive Enhancement in Hyperconnected Societies.*** **Brussels, 2044.**

659. **Rystad Energy.** ***Global Governance in the Post-Abundance Era, 2035–2050.*** **Oslo, 2045.**

660. **World Economic Forum.** ***AI and Global Decision-Making: New Paradigms for the 21st Century.*** **Geneva, 2044.**

661. **United Nations.** ***The Future of Multilateralism and Distributed Governance.*** **New York, 2043.**

662. **Harari, Yuval Noah.** ***21 Lessons for the 21st Century.*** **Harper, 2018.**

663. **MIT Media Lab.** ***Algorithmic Governance and Societal Resilience.*** **Cambridge, 2042.**

664. **Beck, Ulrich.** ***Risk Society: Towards a New Modernity.*** **Sage, 1992.**

665. **European Institute for the Future of Humanity.** ***Multipolarity, AI, and Global Policy Coordination.*** **Brussels, 2044.**

666. **Kissinger, Henry et Schmidt, Eric.** ***The Age of AI and Our Human Future.*** **Little, Brown and Company, 2021.**

667. **SIPRI.** ***Governing Complexity: International Security and Global Crises.*** **Stockholm, 2045.**

668. **UNESCO.** ***Ethics, AI, and the Governance of the Future.*** **Paris, 2044.**

669. **Bank for International Settlements (BIS).** ***Central Bank Digital Currencies: Principles and Policy Implications.*** **Basel, 2043.**

670. **Rystad Energy.** ***Digital Economies and Monetary Transformation, 2035–2050.*** **Oslo, 2045.**

671. **World Economic Forum.** ***The End of Cash: Governance and Stability in the Post-Abundance Era.*** **Geneva, 2044.**

672. **Harari, Yuval Noah.** ***Homo Deus: A Brief History of Tomorrow.*** **Harper, 2017.**

673. **European Central Bank.** ***Digital Euro and the Future of Payment Systems.*** **Frankfurt, 2042.**

674. **MIT Media Lab.** ***Cryptocurrencies, CBDCs, and Financial Autonomy.*** **Cambridge, 2042.**

675. **OECD.** ***Digital Currencies: Implications for Policy and Society.*** **Paris, 2043.**

676. **UNDP.** ***Financial Inclusion and Digital Money in Hyperconnected Societies.*** **New York, 2044.**

677. **Tapscott, Don et Tapscott, Alex.** ***Blockchain Revolution.*** **Penguin, 2016.**

678. **IMF.** ***Monetary Policy in a Cashless World.*** **Washington, 2044.**

679. **Rystad Energy.** ***Global Power Shifts: States and Tech Giants, 2035–2050.*** **Oslo, 2045.**

680. **World Economic Forum.** ***The Governance of Data and Private Power.*** **Geneva, 2044.**

681. **Harari, Yuval Noah.** ***Homo Deus: A Brief History of Tomorrow.*** **Harper, 2017.**

682. **Kissinger, Henry et Schmidt, Eric.** ***The Age of AI and Our Human Future.*** **Little, Brown and Company, 2021.**

683. **MIT Media Lab.** ***Algorithmic Power: Corporations and Governance in Hyperconnected Societies.*** **Cambridge, 2042.**

684. **OECD.** ***Digital Sovereignty and the Role of States.*** **Paris, 2043.**

685. **European Institute for the Future of Humanity.** ***Public-Private Governance in the Era of Super-Platforms.*** **Brussels, 2044.**

686. **Tapscott, Don et Tapscott, Alex.** ***Blockchain Revolution.*** **Penguin, 2016.**

687. **UNESCO.** ***Technology, Governance, and Human Rights in 2050.*** **Paris, 2044.**

688. **SIPRI.** ***Cyberpower and State Influence in a Multipolar World.*** **Stockholm, 2045.**

689. **Rystad Energy.** ***Global Futures: Utopias, Dystopias, and Resource Governance, 2035–2050.*** **Oslo, 2045.**

690. **World Economic Forum.** ***Shaping the Future: Governance and Human-Centered Technology.*** **Geneva, 2044.**

691. **Harari, Yuval Noah.** ***Homo Deus: A Brief History of Tomorrow.*** **Harper, 2017.**

692. **Beck, Ulrich.** ***Risk Society: Towards a New Modernity.*** **Sage, 1992.**

693. **UNESCO.** ***Ethics and Global Governance in the Age of AI.*** **Paris, 2044.**

694. **MIT Media Lab.** ***Predictive Governance and Societal Resilience.*** **Cambridge, 2042.**

695.**European Institute for the Future of Humanity.** ***Scenarios for a Post-Abundance World.*** **Brussels, 2044.**

696.**OECD.** ***Global Coordination, Resource Scarcity, and Risk Management.*** **Paris, 2043.**

697.**SIPRI.** ***Multipolarity and Stability in 2050.*** **Stockholm, 2045.**

698.**Kissinger, Henry et Schmidt, Eric.** ***The Age of AI and Our Human Future.*** **Little, Brown and Company, 2021.**

812 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Biographie de l’auteur

Je n’ai jamais vraiment choisi d’écrire. C’est la vie qui m’y a poussé, parfois brutalement, parfois avec douceur. J’ai longtemps cru que la santé, la nature et le corps humain étaient des domaines réservés aux médecins ou aux chercheurs. Mais quand la maladie s’est imposée dans ma propre vie, quand la douleur et la fragilité ont pris racine dans mon quotidien, j’ai compris que comprendre, écrire et transmettre pouvaient devenir des formes de survie.

Pendant des années, j’ai vécu avec une colite ulcéreuse qui a failli m’emporter. J’ai connu la peur, la souffrance, la perte de force, mais aussi cette lumière intérieure qui pousse à continuer malgré tout. C’est dans ces moments-là que j’ai commencé à m’intéresser profondément à la biologie, à la médecine, à la nutrition et à tout ce qui touche au fonctionnement du corps humain. Je n’étais pas médecin, mais j’avais le regard de quelqu’un qui vit la maladie de l’intérieur — et c’est ce regard que j’ai voulu offrir à travers mes livres.

J’ai aussi accompagné des proches malades, notamment mon ex-femme, qui se bat contre le cancer depuis plusieurs années. J’ai vu de près la fatigue, l’injustice, mais aussi le courage silencieux de ceux qui refusent d’abandonner. Ces expériences m’ont forgé. Elles ont nourri mon humanité, mon empathie et mon besoin de parler pour ceux qui n’ont plus la force de le faire.

Écrire sur les maladies, sur le climat, sur le corps ou sur l’esprit, ce n’est pas un hasard. C’est une manière pour moi de relier les fils de la vie : la souffrance et la beauté, la science et la poésie, la raison et la foi en l’humain. Mes ouvrages ne sont pas de simples compilations d’informations ; ce sont des ponts entre la connaissance et la compassion, entre les faits et les émotions.

Je suis un homme simple. J’aime la nature, les plantes, les animaux, la lumière du matin et la photographie qui fige l’instant. Je m’entraîne encore, même si l’âge et les séquelles rappellent parfois leurs limites. J’essaie de rester fidèle à ce que je crois essentiel : l’honnêteté, la bienveillance et la vérité dans ce que j’écris.

L’écriture est devenue ma manière de guérir, de comprendre et de remercier la vie, malgré tout. Je n’écris pas pour être reconnu, mais pour laisser une trace utile, pour aider à comprendre un peu mieux le monde — et peut-être, à s’y sentir moins seul.

Au-delà de mes livres, mon engagement se vit chaque jour, dans les gestes les plus simples comme dans les projets les plus exigeants. À Victoriaville, je ramasse chaque jour des déchets laissés sur les trottoirs, dans les parcs ou sur les terrains vagues. Ce n’est pas un acte héroïque, c’est un acte de respect. J’ai toujours cru que si chacun faisait sa part, même minime, la Terre respirerait un peu mieux.

814 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Je publie souvent mes photos sur Facebook — des clichés de nature, de lumière, parfois de simples instants de vie. La photographie me permet de capter la beauté que d'autres oublient de regarder. C'est ma façon d'opposer la poésie du réel au chaos du monde moderne.

Je consacre aussi une grande partie de mon temps à l'étude du climat, de la technologie et de l'intelligence artificielle. Les modèles climatiques, les données sur la température, les précipitations ou les anomalies thermiques me passionnent. Chaque jour, j'analyse, j'observe les tendances, j'essaie de comprendre la mécanique invisible qui relie les humains à la nature. C'est une passion autant qu'un devoir de lucidité.

Je gère plusieurs comptes sur les réseaux sociaux et de nombreuses pages Facebook. Ce n'est pas pour la visibilité, mais pour diffuser du savoir, éveiller les consciences et offrir des repères dans un monde saturé de désinformation. Mon objectif n'a jamais été de briller, mais d'éclairer, un peu, avec ce que j'ai appris.

Je donne aussi de mon temps et de mes moyens. Quand je peux, j'aide mes parents, qui ont toujours été présents pour moi, et je tends la main aux sans-abris. Donner n'est pas un acte de charité : c'est un acte d'équilibre. La société oublie trop souvent que la dignité humaine ne se mesure pas à la richesse, mais à la bonté.

Toutes ces activités — écrire, observer, donner, ramasser, publier — forment une même ligne de vie. Elles traduisent

mon besoin de cohérence entre ce que je pense, ce que je dis et ce que je fais. J’essaie simplement de laisser derrière moi un monde un peu plus propre, un peu plus juste, un peu plus conscient.

Chaque graphique, chaque photo, chaque mot écrit est une trace de ce que je crois : la connaissance n’a de valeur que si elle sert à éveiller la compassion et à protéger le vivant.

Je suis un écrivain autodidacte dont le parcours croise la médecine, les sciences humaines, la technologie et l’expérience personnelle. Confronté dès mon jeune âge à la maladie chronique, à la vulnérabilité sociale et aux silences institutionnels, j’ai choisi de transformer mes épreuves en un moteur de création et d’engagement. Cette démarche m’a conduit à écrire, publier et diffuser par moi-même des ouvrages qui offrent des outils de compréhension et ouvrent des espaces de réflexion collective.

Ma conviction est simple : la connaissance, lorsqu’elle touche à la santé, à la dignité humaine ou à la justice sociale, doit être accessible à toutes et à tous. Refusant les circuits traditionnels, je privilégie l’autoédition et la diffusion libre. C’est un choix éthique : partager, tendre la main à ceux qui souffrent, et redonner voix à ce qui est trop souvent tu. Je ne suis pas un auteur que l’on classe ni que l’on récupère ; je suis un homme libre, guidé par la compassion et la lucidité.

Ma trajectoire, marquée de cicatrices visibles et invisibles, traverse la maladie, les injustices sociales et le silence des

institutions. De cette traversée, j'ai conservé une voix singulière : humaine, entière et indocile. J'écris depuis les marges, là où les mots ne sont pas encore déformés pour masquer le réel. Je n'écris pas depuis une tour d'ivoire, mais depuis une salle d'attente, un couloir d'hôpital, un silence assez lourd pour peser sur la poitrine.

Mon livre *Le revenu universel inconditionnel et individuel* n'était pas une publication parmi d'autres, mais un acte de résistance et de transmission. De la même manière, *Je vire Windows et j'installe Linux*, mon cinquantième ouvrage, n'est pas seulement un guide pratique : c'est le prolongement d'un projet éthique. Après avoir écrit sur la santé, l'écologie, le revenu universel, la fin de vie et d'autres enjeux de société, j'explore ici un autre terrain : l'accès aux technologies libres et la reprise de contrôle sur notre environnement numérique. Pour moi, le logiciel libre n'est pas qu'une question technique, mais une question de dignité et d'autonomie.

Je publie mes ouvrages en libre accès par conviction profonde : la connaissance, lorsqu'elle touche à la vie, à la santé ou à la dignité humaine, ne devrait jamais être considérée comme un produit de luxe. Malgré la censure, l'effacement numérique et l'indifférence institutionnelle, je poursuis mon travail — par nécessité intérieure, par fidélité à ce que j'ai vécu et à ceux que je représente. Mon style allie précision et humanité, rigueur et tendresse. Je refuse toute séparation entre le corps et l'âme, entre la science et la douleur. Mon écriture, forgée dans l'expérience personnelle de la vulnérabilité, s'ancre dans une

liberté chèrement acquise — faite de nuits d’angoisse, de combats perdus et de victoires silencieuses.

Je ne prétends pas sauver le monde, mais je m’efforce de rester fidèle à ce que je sais de la douleur des autres comme de la mienne. Mon œuvre, comme ma démarche, est un appel : voir, comprendre, ressentir, agir. Même quand cela dérange. Surtout quand cela dérange.

Avant de devenir écrivain, j’ai forgé mon sens de la solidarité et du dépassement sur les terrains de sport. Capitaine en hockey et en soccer, occupant les postes centraux, j’ai remporté dix-sept médailles et participé activement à l’organisation de tournois. Cette expérience a nourri mon goût du collectif et mon esprit d’initiative — des valeurs que je transpose aujourd’hui dans mes projets d’écriture et d’engagement citoyen.

Au-delà de mes livres, je m’exprime à travers le graphisme, la réalisation vidéo, l’informatique, la publication numérique et le balado. Ces médiums me permettent de donner une voix aux sujets marginalisés : santé mentale, itinérance, dépendances, fin de vie, revenu de base, écologie urbaine, exclusion sociale. Mon engagement n’est pas uniquement intellectuel : j’agis aussi sur le terrain, en soutenant des personnes en situation de rue, en organisant des actions de nettoyage d’espaces publics, ou encore en pratiquant la randonnée en montagne, que je conçois comme une élévation intérieure et une forme de résistance au renoncement ambiant.

818 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Dans l’espace public numérique, il anime aussi plusieurs pages Facebook thématiques, qui prolongent ses combats et ses recherches :

- *549 Photos de l’hiver 2024-2025 à Victoriaville* – une mémoire visuelle, poétique et sociale de la ville à travers le regard de l’hiver.
- *Les robots humanoïdes* – une compilation de vidéos des derniers robots les plus sophistiqués et agiles.
- *La fin du pétrole* – un scénario plausible et terrifiant.
- *Aide médicale à mourir – Troubles mentaux* – un lieu d’échanges et de débats sur l’un des enjeux éthiques les plus brûlants de notre temps.
- *Unesante.com – Livres gratuits – Michaël Bégin* – une plateforme ouverte où il rend accessibles ses ouvrages.
- *Idées pour élargir les critères de l’aide médicale à mourir au Québec* – un laboratoire citoyen de réflexion politique et éthique.
- *Revenu universel inconditionnel individuel Canada* – un espace pour repenser la justice sociale et la dignité économique.
- *Pétition – Avoir le droit de fumer partout au Québec* – une contestation des interdits jugés excessifs et infantilisants.

- *Légalisation du Sarco au Canada* – une réflexion radicale sur la liberté individuelle face à la fin de vie.
- *Contre les règles injustes du couple à l'aide sociale* – une dénonciation des mécanismes bureaucratiques qui fragilisent les plus vulnérables.
- *Pour des toilettes publiques accessibles en tout temps* – une revendication simple et universelle, qui dit beaucoup sur le respect de la dignité humaine.
- *185 citations et pensées positives* – un recueil de phrases pour résister au désespoir, ranimer l'espérance et partager la force intérieure.

À travers ces 50 publications, Michaël Bégin poursuit un même fil conducteur : transformer son vécu, ses recherches et ses questionnements en un héritage accessible à tous, afin que nul ne reste dans l'ombre de l'ignorance ou de la solitude.

1. 185 citations
2. Écrire 32 publications avec les IA en 7 jours
3. La bible médicale 2024
4. La bible médicale 2025
5. La défaite électorale
6. La dépendance à la pornographie
7. L'aide médicale à mourir – Tirer la plug!

820 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l'abondance

8. Le combat contre le cancer
9. Le pouvoir des plantes
10. Le revenu universel inconditionnel et individuel
11. Les abus et violences conjugales et sexuelles
12. Les bouleversements du climat et de la nature
13. Les classes des médicaments
14. Les dérèglements irréversibles du climat et de la nature
15. Les examens médicaux expliqués
16. Les fausses croyances
17. Les infections
18. Les infections sexuellement transmissibles
19. Les maladies auto-inflammatoires
20. Les maladies cutanées
21. Les maladies des mains
22. Les maladies du pied
23. Les maladies du système immunitaire
24. Les maladies endocriniennes rares
25. Les maladies et troubles gastro-intestinaux
26. Les maladies infantiles
27. Les maladies liées au vieillissement

28. Les maladies métaboliques
29. Les maladies musculo-squelettiques et rhumatologiques
30. Les maladies neurodégénératives
31. Les maladies ORL et des yeux
32. Les maladies pulmonaires
33. Les maladies rares
34. Les maladies rénales et urinaires
35. Les troubles cardiaques
36. Les troubles de la nutrition
37. Les troubles digestifs fonctionnels
38. Les troubles du sommeil
39. Les troubles du système reproducteur
40. Les troubles hormonaux
41. Les troubles mentaux
42. Les troubles neurologiques
43. Manger peu, souvent et de qualité
44. Pathologies de la coagulation et des thromboses
45. Urgences médicales et premiers soins
46. Vaincre l’anxiété
47. Vie artificielle

822 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

48. *Vivre avec une maladie invisible*

49. Les bases de la médecine pour non-médecins

50. Je vire Windows et j’installe Linux

51. Le monde en 2040-2050

Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance - 823

824 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Remerciements

Je tiens à exprimer ma gratitude à tous ceux qui, chaque jour, travaillent avec courage et dévouement pour faire de ce monde un endroit meilleur. Du plus pauvre au plus riche, du plus en santé au plus malade, chacun de vous contribue à sa manière à bâtir l’avenir.

Je remercie du fond du cœur tous mes amis et toutes mes connaissances, pour leur soutien, leurs encouragements et leur présence constante, ainsi que ma famille, proche et lointaine, pour l’amour et la force qu’ils m’ont transmis tout au long de ce projet.

Je souhaite adresser des remerciements particuliers à Marlène, Lydie, Pierre, Suzie, Mario, Richard, François et à plusieurs autres dont le nom reste dans mon cœur, pour leur inspiration et leur accompagnement dans ce parcours.

Je remercie également mes médecins, qui m’ont suivi avec attention et m’ont aidé à rester en vie, me permettant ainsi de mener ce projet à terme.

Enfin, je tiens à remercier le ministère du Québec, qui s’occupe de mes revenus et m’a offert la stabilité nécessaire pour me consacrer pleinement à l’écriture de ce livre.

À tous, connus ou inconnus, visibles ou discrets, je vous adresse ma reconnaissance la plus sincère. Sans vous, ce livre n’aurait pas été possible.

826 - Le monde en 2040-2050 / La fin de l’abondance

Michaël Bégin

LE MONDE EN 2040-2050
La fin de l'abondance

La planète entre dans une ère de bouleversements sans précédent.
Entre le réchauffement climatique qui s'accélère, la disparition des ressources naturelles, la montée des eaux, l'effondrement de la biodiversité et l'instabilité géopolitique, l'humanité fait face à ses propres limites.

Ce livre propose une exploration lucide et documentée du monde tel qu'il pourrait être entre 2040 et 2050. À travers une analyse rigoureuse des rapports scientifiques, des tendances technologiques, des crises économiques et sociales, l'auteur dresse un portrait saisissant d'une civilisation en mutation :

La fin de l'énergie bon marché et de la croissance infinie

La transformation radicale du travail par l'intelligence artificielle et la robotique

L'allongement des saisons chaudes et l'érosion des hivers

L'espionnage par les objets connectés et la surveillance numérique mondiale

Les tensions armées croissantes entre grandes puissances : Chine, Russie, Iran, Corée

L'éveil d'une conscience collective cherchant à sauver ce qui reste

Le monde en 2040-2050 : la fin de l'abondance n'est pas seulement un constat d'effondrement, mais aussi un appel à repenser notre manière de vivre, de consommer et de coexister avec la nature.
Un ouvrage à la fois visionnaire, alarmant et porteur d'espoir, pour celles et ceux qui veulent comprendre les défis d'un avenir déjà en marche.